



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**PENGARUH JENIS POLIMER DAN WT%  
TEMBAGA TERHADAP SIFAT FISIKA DAN  
MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT  
TEMBAGA/POLIMER SEBAGAI KANDIDAT  
MATERIAL PELURU *FRANGIBLE***

**FAJRYANSYA MIFTAHUL FALAH**  
**NRP 02511440000063**

Dosen Pembimbing  
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si  
Dr. Eng Hosta Ardhyana, S.T, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018





**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**PENGARUH JENIS POLIMER DAN WT%  
TEMBAGA TERHADAP SIFAT FISIK DAN  
MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT  
TEMBAGA/POLIMER SEBAGAI KANDIDAT  
MATERIAL PELURU *FRANGIBLE***

**FAJRYANSYA MIFTAHUL FALAH  
NRP 02511440000063**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si  
Dr. Eng Hosta Ardhyana, S.T, M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**

*(halaman ini sengaja dikosongi)*



**FINAL PROJECT - TL 141584**

**THE EFFECT OF TYPE OF POLYMER AND WT%  
COPPER TO PHYSICAL AND MECHANICAL  
PROPERTIES COMPOSITE MATERIAL  
COPPER/POLYMER AS CANDIDATE OF  
FRANGIBLE BULLETS**

**FAJRYANSYA MIFTAHUL FALAH  
NRP 02511440000063**

**Advisors**

**Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si**

**Dr. Eng Hosta Ardhyana, S.T, M.Sc**

**MATERIAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institut of Technology  
Surabaya  
2018**

*(halaman ini sengaja dikosongi)*

**PENGARUH JENIS POLIMER DAN WT%  
TEMBAGA TERHADAP SIFAT FISIK DAN  
MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT  
TEMBAGA/POLIMER SEBAGAI KANDIDAT  
MATERIAL PELURU *FRANGIBLE***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Material Inovatif  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Fajryansya Miftahul Falah**  
**NRP 02511440000063**

Disetujui oleh tim penguji tugas akhir :

Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. .... (Pembimbing I)

Dr. Eng. Hosta Ardhyananta S.T., M.Sc. .... (Pembimbing II)

**SURABAYA**



*(halaman ini sengaja dikosongi)*



**PENGARUH JENIS POLIMER DAN WT%  
TEMBAGA TERHADAP SIFAT FISIK DAN  
MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT  
TEMBAGA/POLIMER SEBAGAI KANDIDAT  
MATERIAL PELURU *FRANGIBLE***

**Nama** : Fajryansya Miftahul Falah  
**NRP** : 02511440000063  
**Departemen** : Teknik Material  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Widyastuti, S.Si, M.SI  
Dr. Eng Hosta Ardhyananta, S.T, M.Sc

**ABSTRAK**

Dunia militer saat ini banyak menggunakan peluru *frangible* sebagai peluru latih. Peluru ini hancur ketika menabrak target keras, agar lebih mudah dalam fabrikasi dan mengurangi biaya maka digunakan matriks polimer untuk menggantikan matriks metal sebagai bahan dasar peluru *frangible*. penelitian ini akan menganalisis prototipe proyektil *frangible* dengan bahan baku komposit matriks polimer termoplastik dengan *reinforce* serbuk tembaga (Cu). Jenis polimer yang dipergunakan antara lain Polikarbonat (PC), Polipropilena (PP) dan polistirena (PS) dengan metode *casting*. Dari penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa semakin tinggi wt% Cu maka sifat mekanik Cu akan lebih tinggi dan apabila berbeda jenis material maka hasil yang didapat berbeda pula. Selain itu, semakin tinggi sifat mekanik *raw* material maka semakin baik sifat mekaniknya. Nilai maksimum didapat pada material komposit Cu/PS pada komposisi 70% Cu dengan kuat tekan 53,08 MPa, modulus elastisitas 2,377 GPa, dan kekerasan 112,27 HV. Jenis polimer dan wt% Cu sangat mempengaruhi sifat fisik, apabila dengan komposisi berbeda dan jenis material yang berbeda maka sifat dan karakteristik material akan berbeda pula dengan pengujian SEM, EDX, dan FTIR yang telah dilakukan.

**Kata Kunci** : Komposit, *Frangible*, Sifat Fisik, Sifat Mekanik

*(halaman ini sengaja dikosongi)*

**EFFECT OF TYPE OF POLYMER AND WT%  
COPPER OF PHYSICAL AND MECHANICAL  
PROPERTIES COMPOSITE MATERIAL  
COPPER/POLYMER AS CANDIDATE OF  
FRANGIBLE BULLETS**

**Student Name** : Fajryansya Miftahul Falah  
**NRP** : 02511440000063  
**Departement** : Material Engineering  
**Advisors** : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si  
Dr. Eng Hosta Ardhyanta, S.T, M.Sc

**ABSTRACT**

The military world today uses a lot of frangible bullets as a training bullet. The bullet is crushed when crashing into hard targets, making it easier to fabricate and reduce costs then use the polymer matrix to replace the metal matrix as the base material of the frangible bullet. this research will analyze prototype of frangible projectile with material of thermoplastic polymer matrix composite with copper powder reinforce (Cu). Polymer types used include Polycarbonate (PC), Polypropylene (PP) and polystyrene (PS) by casting method. From the research, it was concluded that the higher wt% Cu then the mechanical properties of Cu will be higher and if different material types then the results obtained are different too. In addition, the higher the mechanical properties of raw materials the better the mechanical properties. Maximum values were obtained on Cu / PS composite materials at 70% Cu composition with a compressive strength of 53.08 MPa, a modulus of elasticity of 2,377 GPa, and a hardness of 112.27 HV. Type of polymer and wt% Cu greatly affect the physical properties, if with different composition and different material types, the properties and characteristics of the material will be different from the SEM, EDX, and FTIR tests that have been done.

**Keyword: Composite, Frangible, Physical Characteristic, Mechanical Properties**

*(halaman ini sengaja dikosongi)*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Jenis Polimer dan Wt% Tembaga Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Material Komposit Tembaga/Polimer Sebagai Kandidat Material Peluru *Frangible*”**.

Laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal pelaksanaan tugas akhir, penentuan topik laporan hingga selesainya penyusunan laporan tugas akhir ini, diantaranya :

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam proses mengerjakan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan
2. Rasulullah SAW yang selalu memberikan kasih sayang dan tuntunannya untuk senantiasa beribadah kepada Allah SWT
3. Kedua Orang Tua, bapak Khoiril Anwar dan ibu Nurrul Agung Marwati yang selalu memberikan dukungan moril dan materil serta doa yang tidak henti untuk penulis
4. Cak Nun, Gus Mus, dan Habib Syech yang selalu memberikan bimbingan spiritual dan motivasi untuk penulis.
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material
6. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku pembimbing I tugas akhir dan dosen wali yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini dan selama 4 tahun perkuliahan
7. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc., selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi

saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.

8. Teman-teman MT 16 yang selalu memberikan support moral dan material demi kelancaran perkuliahan penulis.
9. Heti, Yudhis, Harits, Rama, bakti, affan, serta teman-teman Lab Material Inovatif yang membantu kelancaran proses penyusunan proposal tugas akhir ini.
10. Tetangga dan orang-orang yang pernah singgah di hati yang memberikan motivasi dan dukungan batin bagi penulis
11. Semua yang tidak dapat saya sebutkan disini yang memberi dukungan dan membantu kelancaran proses tugas akhir ini.

Penulis menyadari jika laporan ini masih jauh dari sempurna, adanya saran dan kritik yang membangun dapat memberikan manfaat bagi penulis dan untuk studi selanjutnya. Demikian semoga laporan ini dapat memberikan informasi yang memadai bagi pembaca.

Surabaya, Juni 2018  
Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Material Komposit.....	5
2.2 Fungsi Matriks dan Filler .....	8
2.3 Material Polimer.....	9
2.4 Polimer Termoplastik .....	10
2.5 Komposit Matriks Polimer .....	14
2.6 Sifat Komposit.....	15
2.7 Pengujian Tekan .....	17
2.8 Peluru <i>Frangible</i> .....	18
2.9 Tembaga (Cu).....	21
2.10 Polikarbonat (PC).....	23
2.11 Polipropilena (PP) .....	28
2.12 Polistirena (PS).....	29

2.13 Proses Manufaktur Material Komposit.....	31
2.14 Perhitungan Nilai Densitas .....	34
2.15 Porositas .....	36
2.16 Penelitian Sebelumnya .....	37
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>49</b>
3.1 Bahan Penelitian.....	49
3.2 Alat Penelitian .....	51
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	57
3.4 Tahapan Penelitian .....	58
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>67</b>
4.1 Analisa Proses Pembuatan.....	67
4.1.1 Analisa Hasil Uji Tekan .....	69
4.1.2 Analisa Hasil Uji Kekerasan .....	72
4.1.3 Analisa Hasil Uji Densitas dan Porositas .....	74
4.1.4 Analisa Hasil Uji Morfologi SEM/EDX .....	78
4.1.5 Analisa Hasil Uji FTIR.....	87
4.2 Pembahasan.....	93
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>97</b>
5.1 Kesimpulan.....	97
5.2 Saran.....	97
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xiv</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Bentuk umum dari penguat serat. Umumnya serat penguat bisa serat panjang lurus, serat putus-putus atau serat cincang, serbuk atau serpihan, atau serat memanjang yang dirajut, braided, atau knitted (ASM, 2001) .....	6
<b>Gambar 2.2</b> Klasifikasi komposit menurut Callister (2012) .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Jenis-jenis material polimer .....	10
<b>Gambar 2.4</b> Kurva Tegangan-regangan termoplastik (Saptono, 2008) .....	11
<b>Gambar 2.5</b> Diagram dari modulus relaksasi dengan temperatur untuk amorfus polistiren yang menampilkan 5 daerah sifat viskoelastis berbeda .....	12
<b>Gambar 2.6</b> Modulus relaksasi dari polimer (a) isotaktik kristalin, (b) ataktik <i>crosslink</i> ringan, (c) polistirena amorfus. ....	14
<b>Gambar 2.7</b> Grafik <i>stress-strain</i> dari pengujian tarik penguat, matriks dan material komposit.....	15
<b>Gambar 2.8</b> Bagian-bagian peluru .....	19
<b>Gambar 2.9</b> Skema terjadinya <i>Ricochet</i> dengan keterangan (a) adalah sudut tembakan dan (b) adalah sudut <i>ricochet</i> (Heard, 2008) .....	21
<b>Gambar 2.10</b> Aplikasi Tembaga Sebagai Kabel .....	23
<b>Gambar 2.11</b> Monomer Polikarbonat .....	24
<b>Gambar 2.12</b> Reaksi <i>Bisphenol A</i> dan fosgen $\text{COCl}_2$ .....	24
<b>Gambar 2.13</b> Aplikasi Material Polikarbonat .....	27
<b>Gambar 2.14</b> Monomer Polipropilena .....	29
<b>Gambar 2.15</b> Proses reaksi polistirena.....	30
<b>Gambar 2.16</b> Skema Kompresion molding .....	32
<b>Gambar 2.17</b> Skema Injection Molding.....	34
<b>Gambar 2.18</b> Diagram skema ekstruder.....	34
<b>Gambar 2.19</b> Jenis-jenis porositas (a) pori tertutup, (b), (c), (d), (e), (f) pori terbuka, (b) (f) pori buntu. Berdasarkan bentuknya (c) Silinder terbuka, (f) silinder Buntu, (b)	

berbentuk botol tinta, (d) berbentuk corong, (e) berbentuk kasar .....	36
<b>Gambar 2.20</b> Hasil penelitian dari Bilewicz (2007) mengenai komposit campuran PP/PC menggunakan metode injection molding .....	37
<b>Gambar 2.21</b> Hasil struktur mikro komposit Cu/ER dengan skala perbesaran 50 $\mu\text{m}$ .....	39
<b>Gambar 2.22</b> Hasil FTIR bubuk Cu dari hasil percobaan.....	39
<b>Gambar 2.23</b> Hasil pengujian tarik komposit Cu/HDPE (Park, 2016).....	41
<b>Gambar 2.24</b> Hasil uji SEM komposit Cu/HDPE.....	41
<b>Gambar 2.25</b> Hasil pengujian FTIR polikarbonat diperkuat serat gelas modifikasi ( <i>Modified RGF</i> ), serat gelas daur ulang( <i>RGF</i> ), dan tanpa penguat ( <i>nonmetals</i> ).....	43
<b>Gambar 2.26</b> Hasil FTIR (a) PANI/PAA (b) PANI/PAA – Cu.....	44
<b>Gambar 3.1</b> <i>Raw Material</i> dari penelitian antara lain : (a) Polikarbonat (b) Polpropilena (c) polistirena (d) serbuk tembaga.....	49
<b>Gambar 3.2</b> Alat uji SEM .....	52
<b>Gambar 3.3</b> Gambar mesin FTIR departemen teknik material FTI-ITS .....	53
<b>Gambar 3.4</b> Mesin Uji <i>Microvickers</i> .....	53
<b>Gambar 3.5</b> Mesin Uji tekan.....	54
<b>Gambar 3.6</b> Diagram Alir Penelitian I.....	57
<b>Gambar 3.7</b> Diagram Alir Penelitian II .....	58
<b>Gambar 3.8</b> proses pembuatan material antara lain : (a) proses penimbangan <i>raw material</i> (b) proses pencampuran serbuk Cu dan pelet polimer (c) proses <i>mixing</i> menggunakan <i>stirer</i> (d) produk komposit sebelum dicetak (e) proses pencetakan (f) proses <i>finishing</i> (g) hasil spesimen komposit .....	61
<b>Gambar 3.9</b> bentuk indenter yang digunakan pada pengukuran Vickers Hardness dan bentuk lekukan yang ditinggalkan setelah beban diangkat .....	64
<b>Gambar 3.10</b> Spesimen Uji Tekan ASTM D695-92.....	65

<b>Gambar 4.1</b>	Produk hasil manufaktur berturut turut (a) 30%Cu-70%PC, (b).50%Cu-50%PC, (c). 70%Cu-30%PC, (d). 30%Cu-70%PP,(e). 50%Cu-50%PP, (f). 70%Cu-30%PP, (g). 30%Cu-70%PS, (h). 50%Cu-50%PS dan (i). 70%Cu-30%PS.....	68
<b>Gambar 4.2</b>	Porositas yang terjadi pada sampel (a). Komposit Cu/PP (b) komposit Cu/PC (c) komposit Cu/PS.....	69
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik hubungan antara kuat tekan dan modulus elastisitas tiap jenis polimer penyusun dengan berbagai komposisi Cu pada komposit Cu/Polimer 70	
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik hubungan antara nilai kekerasan dan komposisi Cu dari setiap jenis polimer penyusun komposit .....	73
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Hasil Pengujian Densitas dan porositas.....	76
<b>Gambar 4.6</b>	Gambar mikrostruktur dan hasil EDX Serbuk Cu yang digunakan sebagai filler dengan perbesaran (a) 1600x dan (b) 5000x .....	79
<b>Gambar 4.7</b>	Gambar mikrostruktur dan hasil EDX material komposit Cu/PP dengan perbesaran (a) 450 x dan (b) 2000 x .....	80
<b>Gambar 4.8</b>	Gambar mikrostruktur dan hasil EDX material komposit Cu/PP dengan perbesaran (a) 2000 x dan (b) 4500 x .....	81
<b>Gambar 4.9</b>	Gambar mikrostruktur dan hasil EDX material komposit Cu/PP dengan perbesaran (a) 2000 x dan (b) 4500 x .....	82
<b>Gambar 4.10</b>	Perbandingan persebaran serbuk material (a) komposit Cu/PP (b) komposit Cu/PS (c)Komposit Cu/PC (d) raw material Cu .....	86
<b>Gambar 4.11</b>	Analisis FTIR terhadap PP pure dan Komposit Cu/PP .....	87
<b>Gambar 4.12</b>	Gugus Fungsi Polipropilena berdasarkan Callister (2014).....	88
<b>Gambar 4.13</b>	Hasil pengujian FTIR Komposit Cu/PS dan pure PS .....	89

<b>Gambar 4.14</b> Gugus Fungsi Polistirena menurut Callister (2014)	90
<b>Gambar 4.15</b> Hasil pengujian FTIR pada <i>pure</i> PC dan komposit Cu/PC	91
<b>Gambar 4.16</b> Gugus fungsi polikarbonat menurut Callister (2014)	92

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2 1</b> Hasil Esitimasi kekuatan tekan yang akan di capai ....	17
<b>Tabel 2.2</b> Rentan kekerasan peluru berdasarkan aplikasinya .....	19
<b>Tabel 2.3</b> Karakteristik peluru <i>frangible</i> secara umum .....	20
<b>Tabel 2.4</b> Sifat Fisik dan Mekanik Tembaga .....	23
<b>Tabel 2 5</b> Sifat fisik dan mekanik polikarbonat .....	26
<b>Tabel 2.6</b> Sifat fisik dan mekanik Polipropilena .....	29
<b>Tabel 2.7</b> Sifat Fisik dan Mekanik Polistirena .....	31
<b>Tabel 2.8</b> Hasil estimasi densitas yang akan di capai .....	35
<b>Tabel 2.9</b> Rangkaian Penelitian Sebelumnya mengenai pengembang peluru <i>frangible</i> berbahan penyusun polimer .....	45
<b>Tabel 4.1</b> Data Hasil Uji Tekan .....	69
<b>Tabel 4.2</b> Tabel Hasil Pengujian kekerasan .....	72
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Pengujian Densitas dan Porositas .....	74
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Uji EDX Serbuk Cu, Komposit Cu/PP, Komposit Cu/PS, dan Komposit Cu/PC .....	83
<b>Tabel 4.5</b> Daerah Serapan polipropilena (Socrates, 2001) .....	87
<b>Tabel 4.6</b> Tabel daerah serapan Polistirena (Bhavsar, 2018) .....	89
<b>Tabel 4.7</b> Tabel daerah serapan Polikarbonat (Larosa, 2017) ....	91

*(halaman ini sengaja dikosongi)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dunia militer saat ini banyak menggunakan peluru *frangible* sebagai peluru latih. Peluru ini di desain untuk hancur ketika mengkantam target yang keras, sehingga akan meningkatkan keamanan dalam berlatih. Peluru *frangible* yang pertama kali di teliti adalah *metal matrix composite* yang dibuat dari paduan Cu dan Sn dengan menggunakan metalurgi serbuk. Seiring dengan perkembangan zaman diketahui pengembangan peluru *frangible* berubah menjadi *polymer matrix composite* dengan menggantikan Sn sebagai *filler* sehingga lebih mudah di fabrikasi dan biaya yang rendah. Pada pengembangan ini metode manufaktur polimer banyak dilakukan, namun yang umum dilakukan yakni *injection molding*. Dan dengan beberapa metode yang lain yang dapat dilakukan untuk manufaktur polimer yakni ekstrusi dan *casting*.

Pada penelitian yang sebelumnya tentang pengembangan peluru *frangible* khususnya untuk komposit tembaga/polimer (dewanto, 2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh persen massa polimaida dan temperatur sintering terhadap struktur mikro dan sifat mekanik proyektil komposit tembaga/poliamida-6 didapat bahwa dengan kadar poliamida-6 yang semakin banyak nilai densitas akan semakin turun dan poositas bertambah. Sedangkan untuk kekuatan tekan dan kekerasan mengalami penurunan. Pada penelitian ini pembuatan material dengan metode kompaksi. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Carldson. 2012) metode yang digunakan untuk pembuatan proyektil adalah *injection molding* untuk menggabungkan material Cu dan Sn. Sehingga digunakan material Cu sebagai logam penyusun komposit. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Park,dkk,2016) dilakukan untuk membandingkan sifat thermal dan sifat mekanik dari MWCNT/polimer dan Cu/polimer dari percobaan diketahui Cu diperkuat HDPE dan PP dengan kenaikan kadar Cu dengan hasil rasio konduktifitas thermal lebih tinggi sejalan dengan sifat



mekanik yang dimiliki dibuktikan dengan pengujian tarik yang telah dilakukan sehingga digunakan PP dengan sifat mekanik lebih tinggi dan juga dengan variasi polimer yang lain yakni polistirena dan polikarbonat dengan sifat mekanik yang lebih tinggi dari polipropilena.

Maka, penelitian ini akan menganalisis prototipe proyektil *frangible* dengan bahan baku komposit matriks polimer termoplastik dengan *reinforce* serbuk tembaga (Cu). Variabel dalam penelitian ini adalah persen berat tembaga (Cu) dan jenis polimer yang dipergunakan antara lain Polikarbonat (PC), Polipropilen (PP) dan polistiren (PS) dalam material komposit Cu/Polimer. Respon yang diamati dalam penelitian ini adalah sifat material, baik sifat mekanik berupa kekuatan tekan, kekerasan, dan modulus elastisitas, maupun mikrostruktur material untuk melihat dan menganalisis morfologi dan karakteristik yang muncul sehingga sesuai sifat yang diinginkan sebagai material kandidat peluru *frangible*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang menjadi fokus penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh jenis polimer dan Wt% tembaga terhadap sifat mekanik material komposit Tembaga (Cu)/polimer sebagai kandidat material peluru *frangible* ?
2. Bagaimana pengaruh jenis polimer dan wt% tembaga terhadap sifat fisik material komposit Tembaga (Cu)/polimer sebagai kandidat material peluru *frangible* ?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Pengaruh impuritas saat pencampuran diabaikan
2. Temperatur selama proses pencampuran diabaikan
3. Lingkungan dianggap tidak berpengaruh
4. Distribusi serbuk dianggap homogen





---

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang menjadi fokus penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh jenis polimer dan wt% tembaga terhadap sifat mekanik material komposit Tembaga/polimer sebagai kandidat material peluru *frangible*
2. Menganalisis pengaruh jenis polimer dan wt% tembaga terhadap sifat fisik material komposit Tembaga/polimer sebagai kandidat material peluru *frangible*

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi dan menghasilkan sifat peluru *frangible* optimal dari bahan baku komposit logam polimer. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian lainnya, terutama pengembangan peluru *frangible* dengan biaya produksi rendah namun dengan sifat unggul sehingga dapat memajukan industri persenjataan nasional.



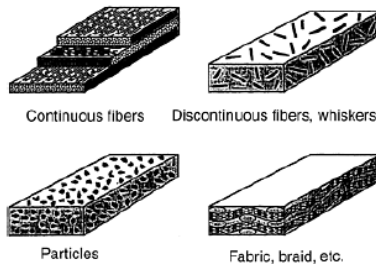
*(halaman ini sengaja dikosongi)*

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Material Komposit

Material komposit adalah material rekayasa yang dibuat dari pencampuran dua atau lebih material untuk menciptakan sebuah kombinasi sifat material yang baru dan unik. Definisi di atas lebih umum dan dapat meliputi paduan metal, *plastic copolymer*, bahan tambang dan kayu. Material komposit berpenguat serat berbeda dari material di atas, yang di dalamnya, material pendukungnya berbeda pada tingkat molekuler dan dapat dipisahkan secara mekanika. Dalam bentuk bulk, material pendukung bekerja sama tetapi tetap dalam sifat aslinya. Sifat akhir dari material komposit lebih baik dari pada sifat material pendukungnya. Komposit didefinisikan sebagai sebuah kombinasi dari dua atau lebih komponen yang berbeda dalam bentuk atau komposisi pada skala makro, dengan dua atau lebih fasa yang berbeda yang mempunyai ikatan antarmuka yang diketahui antara dua komponen tersebut (Mazumdar, 2002)

Komposit umumnya dikelompokkan pada dua tingkat berbeda. Kelompok pertama dibuat berdasarkan pendukung matriksnya. Kelompok komposit utama meliputi komposit matriks organik, komposit matriks metal, dan komposit matriks keramik. Istilah “komposit matriks organik” umumnya dipahami meliputi dua kelompok yaitu: komposit matriks polimer dan komposit matriks karbon (umumnya ditunjukkan sebagai komposit karbon-karbon). Komposit matriks karbon sebenarnya dibentuk dari komposit matriks polimer melalui pemasukan langkah extra dari karbonisasi dan densifikasi matriks polimer asal. Kelompok kedua merujuk pada bentuk penguatnya, misalnya penguat serbuk, penguat whisker, serat memanjang, komposit tenunan, seperti **Gambar 2.1**. Serat atau serbuk penguat bisa dalam bentuk serbuk jika dari semua dimensinya secara kasar sama. (Mazumdar, 2002)



**Gambar 2.1** Bentuk umum dari penguat serat. Umumnya serat penguat bisa serat panjang lurus, serat putus-putus atau serat cincang, serbuk atau serpihan, atau serat memanjang yang dirajut, braided, atau knitted  
(ASM, 2001)

Bentuk (dimensi) dan struktur penyusun komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit, begitu pula jika terjadi interaksi antara penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit (Pramono, 2012). Material komposit terdiri dari lebih dari satu tipe material dan dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya. Dibanding dengan material konvensional, bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya memiliki kekuatan yang dapat diatur, berat yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan tahan keausan (Bishop dan Smallman, 1999).

Manfaat utama dari penggunaan komposit adalah mendapatkan kombinasi sifat kekuatan serta kekakuan tinggi dan berat jenis yang ringan. Dengan memilih kombinasi material penguat dan matriks yang tepat, kita dapat membuat suatu material komposit dengan sifat yang tepat sama dengan kebutuhan sifat untuk suatu struktur tertentu dan tujuan tertentu pula (Feldman dan Hartomo, 1995).

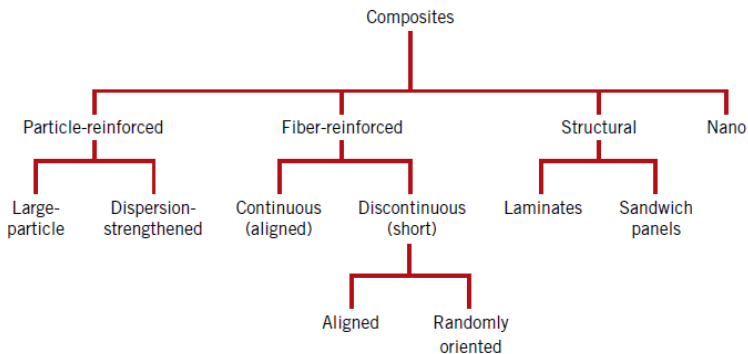
Berdasarkan matriksnya, komposit dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu PMCs (Polymer Matrix Composites) yang menggunakan polimer sebagai matriksnya, CMCs (Ceramic



Matrix Composites) dengan matriks keramik, MMCs (Metal Matrix Composites) yang menggunakan logam sebagai matriksnya. Komposit Matriks Polimer merupakan gabungan dari sekurang-kurangnya dua jenis material dimana salah satunya adalah polimer sebagai matrik induk (matriks) dan material yang kedua sebagai penguat (Callister.2014).

Hampir sama dengan **Gambar 2.2** Komposit menurut P.K Mallick (2007) diklasifikasikan menurut geometri dari pengisi, yakni Partikulat, Flake, dan Serat,

1. Komposit Partikel, terdiri atas partikel yang dicampurkan ke dalam matriks seperti logam dan keramik. Biasanya komposit ini isotropik karena partikel yang ditambahkan bersifat acak. Komposit partikel memiliki keunggulan antara lain kekuatannya yang tinggi, temperatur operasi yang tinggi, ketahanan oksidasi, dsb.
2. Komposit Flake, terdiri atas material pengisi berbentuk pipih. Material flake yang umum antara lain kaca, mika, aluminium, dan perak. Komposit flake memiliki keunggulan seperti modulus fleksural out-of-plane yang tinggi, kekuatan yang tinggi, dan biaya yang murah. Namun, flakes tidak dapat diorientasikan dan hanya sedikit material yang dapat digunakan.
3. Komposit Serat, terdiri atas material serat pendek (diskontinyu) atau serat panjang (kontinyu). Serat secara umumnya bersifat anisotropik. Unit fundamental dari komposit serat kontinyu antara lain unidireksional dan serat yang dianyam.



**Gambar 2.2** Klasifikasi komposit menurut Callister (2012)

## 2.2 Fungsi Matriks dan Filler

Material komposit dibentuk misalnya melalui penguatan plastik dengan serat atau serbuk. Untuk mengembangkan pemahaman yang baik tentang sifat komposit, di sini dijelaskan tentang peran bahan serat atau serbuk dan bahan matriks dalam komposit.

Fungsi utama serat atau serbuk dalam komposit adalah: (Mazumdar, 2002)

1. Untuk membawa beban. Dalam komposit struktur, 70 – 90% beban didukung oleh serat.
2. Untuk memberikan kekakuan, kekuatan, stabilitas panas, dan sifat struktur lainnya dalam komposit.
3. Menyediakan penghantaran atau insulasi elektrik, tergantung pada jenis serat atau serbuk yang digunakan.

Fungsi penting material matriks adalah: (Mazumdar, 2002)

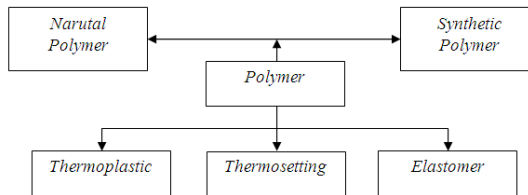
1. Material matriks mengikat serat atau serbuk bersama-sama dan menghantarkan beban ke serat dan serbuk. Matriks memberikan kekakuan dan bentuk terhadap struktur.
2. Matriks mengisolasi serat atau serbuk sehingga masing-masing dapat bekerja secara terpisah. Hal ini dapat menghentikan atau memperlambat propagasi retak.



3. Matriks memberikan kualitas permukaan akhir yang baik dan membantu produksi bentuk jadi atau mendekati bentuk jadi (bentuk akhir komponen).
4. Matriks memberikan perlindungan untuk serat atau serbuk penguat terhadap serangan kimia (misalnya korosi) dan kerusakan mekanik (misalnya aus).
5. Bergantung pada bahan matriks yang dipilih, mempengaruhi karakteristik unjuk kerja seperti duktilitas (liat, kenyal), kekuatan impak, dan lain lain. Sebuah matriks yang kenyal akan meningkatkan ketangguhan struktur. Untuk persyaratan ketangguhan yang lebih tinggi, bisa dipilih komposit berbasis termoplastik.
6. Mode kegagalan sebagian besar dipengaruhi oleh jenis bahan matriks yang digunakan dalam komposisi dan juga kompatibilitasnya terhadap serat.

## 2.3 Material Polimer

Menurut Rahmat Saptono (2008) polimer adalah salah satu bahan rekayasa bukan logam (*non-metallic*) material yang penting. Saat ini bahan polimer telah banyak digunakan sebagai bahan substitusi untuk logam terutama karena sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi dan kimia, dan murah, khususnya untuk aplikasi-aplikasi pada temperatur rendah. Hal lain yang banyak menjadi pertimbangan adalah daya hantar listrik dan panas yang rendah, kemampuan untuk meredam kebisingan, warna dan tingkat transparansi yang bervariasi, serta kesesuaian desain dan manufaktur. Pembagian polimer berdasarkan jenisnya ditampilkan pada **Gambar 2.3**. Polimer termoplastik, misalnya *polyethylene*, adalah jenis polimer yang memiliki sifat-sifat termoplastik yang disebabkan oleh struktur rantainya yang linear (*linear*), bercabang (*branched*) atau sedikit bersambung (*crosslinked*). Polimer dari jenis ini akan bersifat lunak dan viskos (*viscous*) pada saat dipanaskan dan menjadi keras dan kaku (*rigid*) pada saat didinginkan secara berulang-ulang. (Saptono, 2008)



**Gambar 2.3** Jenis-jenis material polimer  
(Saptono, 2008)

Polimer termoplastik memiliki sifat –sifat khusus sebagai berikut : berat molekul kecil, tidak tahan terhadap panas, jika dipanaskan akan melunak, jika didinginkan akan mengeras, mudah untuk diregangkan, fleksibel, titik leleh rendah, dapat dibentuk ulang (daur ulang), mudah larut dalam pelarut yang sesuai, dan memiliki struktur molekul linear atau bercabang. Sementara itu, polimer termoset (*thermosetting*), misalnya *bakelite*, hanya melebur pada saat pertama kali dipanaskan dan selanjutnya mengeras secara permanen pada saat didinginkan. Polimer jenis ini bersifat lebih keras dan kaku (*rigid*) karena strukturnya molekulnya yang membentuk jejaring tiga dimensi yang saling berhubungan (*network*). Polimer jenis elastomer, misalnya karet alam, memiliki daerah elastis non linear yang sangat besar yang disebabkan oleh adanya sambungan–sambungan antar rantai (*crosslinks*) yang berfungsi sebagai 'pengingat bentuk' (*shapememory*) sehingga karet dapat kembali ke bentuknya semula, pada saat beban eksternal dihilangkan (Saptono, 2008).

## 2.4 Polimer Termoplastik

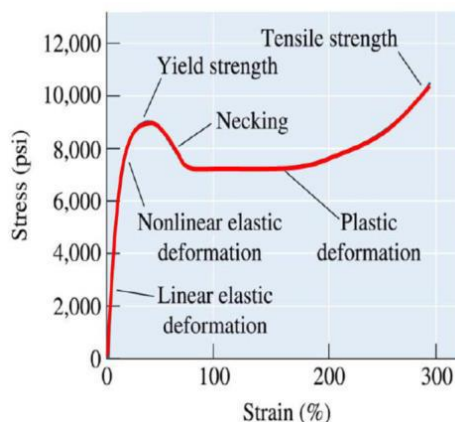
Perilaku mekanik dari polimer termoplastik secara umum dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu : (1) Perilaku Elastik, (2) Perilaku Plastik, (3) Perilaku Visko-Elastik. Pada **Gambar 2.4** dijelaskan Perilaku termoplastik secara umum adalah elastik non-linear yang tergantung pada waktu (*time dependent*). Hal ini dapat dijelaskan dari dua mekanisme yang terjadi pada daerah elastis, yaitu : (1) distorsi keseluruhan bagian yang



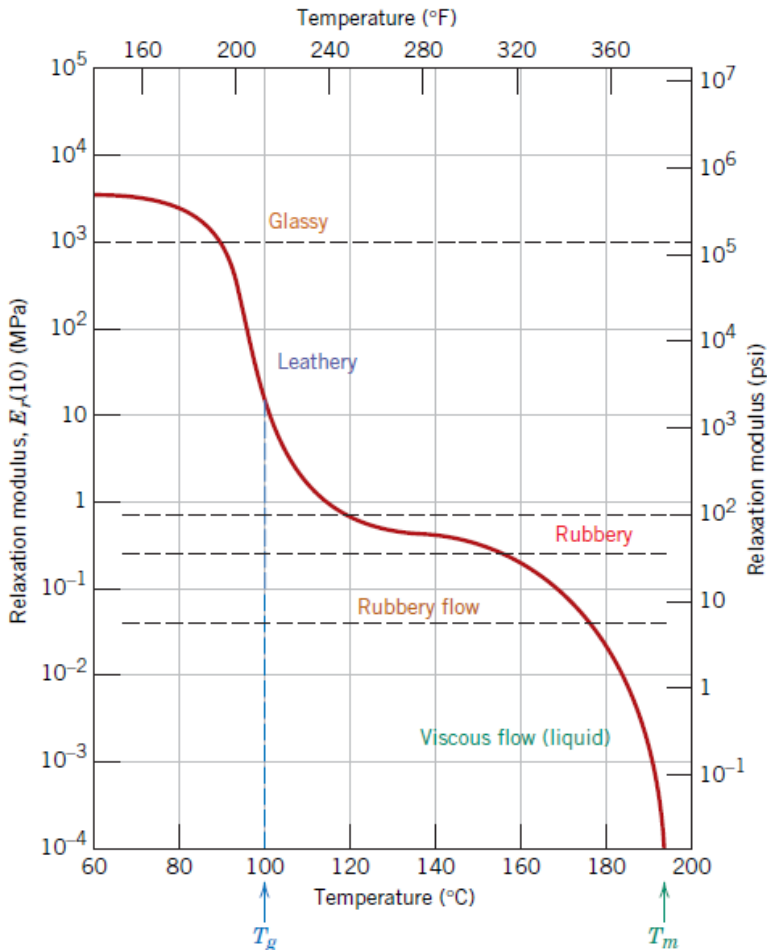


mengalami deformasi, dan (2) regangan dan distorsi ikatan –ikatan kovalennya. Perilaku elastik non-*linear* atau non-proporsional pada daerah elastis terutama berhubungan dengan mekanisme distorsi dari keseluruhan rantai molekulnya yang *linear* atau *linear* dengan cabang (Saptono, 2008). Saptono (2008) menjelaskan bahwa visko-elastis berhubungan perilaku polimer termoplastik saat dideformasi yang terjadi dengan deformasi elastik dalam aliran viskos ketika beban diaplikasikan pada bahan. Hal ini berhubungan dengan ketergantungan perilaku bahan terhadap waktu pada saat deformasi elastis dan plastis.

Tidak seperti halnya logam, polimer umumnya tidak memiliki temperatur lebur yang spesifik. Namun, polimer biasanya mengalami perubahan sifat –sifat atau perilaku mekanik yang jelas pada rentang temperatur tertentu yang sangat sempit. Temperatur dimana terjadi transisi temperatur tersebut dikenal sebagai temperatur gelas,  $T_g$  (*Glass Temperature*). Pada temperatur gelas, termoplastik berubah keadaan dan perilakunya dari kaku, getas, padat, seperti gelas menjadi fleksibel, lunak, elastis, seperti fluida (visko-elastik). Besarnya titik gelas ( $T_g$ ) tergantung pada struktur rantai molekul polimer yang umumnya sekitar  $2/3$  dari titik leburnya. (saptono, 2008)



**Gambar 2.4** Kurva Tegangan-regangan termoplastik  
(Saptono, 2008)



**Gambar 2.5** Diagram dari modulus relaksasi dengan temperatur untuk amorfus polistiren yang menampilkan 5 daerah sifat viskoelastis berbeda (Callister, 2014)

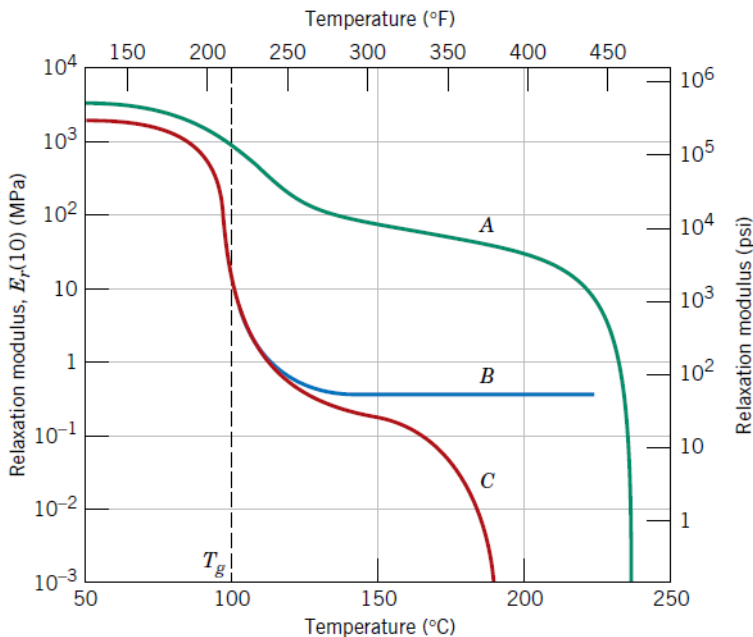
Pada **Gambar 2.5** merupakan diagram dari polistiren amorfus.pada kasus ini dihitung semata-mata setelah menerima



beban selama 10 detik. Beberapa daerah berbeda terlihat di kurva. Pada daerah terendah wilayah *glassy* material kaku dan getas. Dan pada nilai  $E_r(10)$  pada modulus elastis, yang awalnya tidak bergantung pada temperatur. Ketika diatas melewati rentan temperatur tersebut.pada level molekul. Rantai akan membeku pada temperatur tersebut. Ketika kenaikan temperatur,  $E_r(10)$  jatuh tiba-tiba dengan faktor  $10^3$  setiap  $20^\circ\text{C}$  temperatur naik. Dan sewaktu waktu dinamakan *leathery* atau *glass transition region* dan temperatur glass mendekati temperatur atas. Untuk polistiren  $T_g = 100^\circ\text{C}$  dengan pada daerah temperatur tersebut polimer spesimen akan *leathery* perubahan ini akan bergantung dan tidak bisa diperbaiki lagi apabila diberikan beban.ketika memasuki wilayah *rubbery* material berubah menjadi bentuk seperti karet: sehingga komponen terlihat viskos dan elastis dan deformasi sangat mudah dilakukan karena modulus relaksasinya sangat rendah. Pada dua daerah temperatur tinggi terakhir ketika dipanaskan pada temperatur tersebut material bertransisi menjadi lunak, *rubbery state*, dan pada akhirnya menjadi cairan viskos. Pada daerah *rubbery flow* cairan polimer yang sangat viskos yang menunjukkan elastis dan komponen cairan viskos yang mengalir. Pada daerah *viscous flow* modulus turun secara drastis dengan kenaikan temperatur. Dari benuk molekular , pergerakan rantai secara intens mengalir sangat tinggi, bentuk segmen vibrasi dan gerak rotasi bergerak sendiri diantara satu dengan yang lain. pada temperatur tersebut deformasi berubah menjadi ketal dan tidak ada sifat elastis yang terlihat.variasi modulus dapat dilihat pada **Gambar 2.6.**

---

---



**Gambar 2.6** Modulus relaksasi dari polimer (a) isotaktik kristalin, (b) ataktik *crosslink* ringan, (c) polistirena amorfus. (callister, 2014)

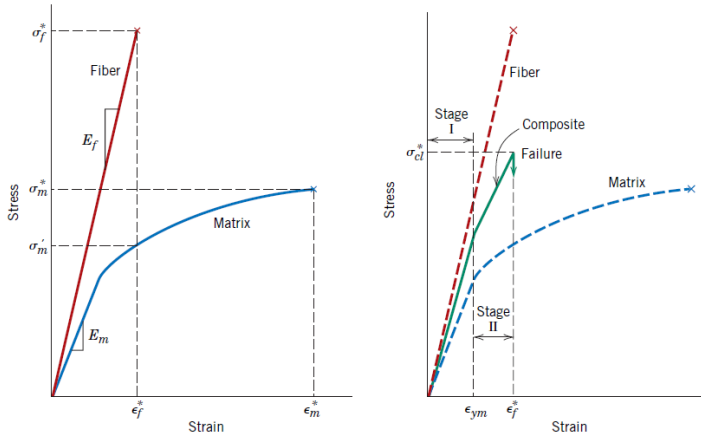
## 2.5 Komposit Matriks Polimer

Komposit matriks polimer terdiri atas polimer (contoh: epoksi, polyester, polyurethane) yang diperkuat dengan serat berdiameter tipis (contoh: grafit aramid boron). Sebagai contoh, komposit grafit/epoksi lima kali lebih kuat daripada baja dalam basis weight-to-weight. Komposit serat polimer memiliki keunggulan, yaitu biaya yang lebih rendah, kekuatannya tinggi dan prinsip manufakturnya mudah. Kelemahan dari komposit serat polimer adalah temperatur operasi yang rendah, koefisien termal yang tinggi dan ekspansi kelembaban dan sifat elastisitas yang rendah pada arah tertentu (Kaw. 2006).



## 2.6 Sifat Komposit

Respons mekanik dari komposit berdasarkan beberapa faktor, termasuk sifat stress strain dari fasa matriks dan fiber, fraksi volume fasa, dan arah tegangan atau beban yang diberikan. (Callister, 2014).



**Gambar 2.7** Grafik *stress-strain* dari pengujian tarik penguat, matriks dan material komposit (Callister, 2014)

Plastik maupun elastomer secara signifikan mulai diperkuat dengan beberapa material partikel. Penggunaan karet modern sudah sering menggunakan material penguat salah satunya yakni *carbon black*. *carbon black* ukurannya sangat kecil. Ketika ditambahkan dalam proses vulkanisasi ban pada material tersebut meningkatkan kekuatan tarik, ketangguhan, dan ketahanan aus dan juga abrasi. Namun partikel tersebut sangat kecil dengan ukuran 20-50 nm. (callister, 2014).

Matriks thermoplastik meskipun dapat dilakukan pelelehan dan proses yang berkali kali namun dapat diketahui bahwa *thermal exposure* atau kenaikan termal yang sangat tinggi melebihi batas waktu yang diberikan dapat mendegradasi polimer



salah satunya adalah kemampuan impak dari material tersebut (callister, 2014).

Berdasarkan pada **Gambar 2.7** Tegangan yang bekerja pada material dapat dihitung dengan persamaan 2.1

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan  $\sigma$  merupakan tegangan teknik yang bekerja pada spesimen, dengan satuan mega pascal (Mpa) atau *pound force per square inch* (psi). F merupakan gaya yang diaplikasikan pada spesimen, dengan satuan *Newton* (N) atau *pound force* (lbf).  $A_0$  merupakan luas daerah mula-mula sebelum adanya gaya yang bekerja, dengan satuan ( $m^2$  atau  $in^2$ ). Nilai kekuatan tarik merupakan nilai tegangan tertinggi pada kurva tegangan-regangan.

Regangan yang terjadi pada material dapat dihitung dengan persamaan 2.2

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan  $\varepsilon$  merupakan regangan teknik yang terjadi pada material, dengan satuan persen (%) atau meter per meter (m/m).  $l_0$  merupakan panjang mula-mula spesimen sebelum dikenai gaya, sedangkan  $l_i$  merupakan panjang akhir setelah material dikenai gaya, dengan satuan meter (m) atau inchi (*inch*).  $l_i - l_0$  dapat dinyatakan sebagai perubahan panjang, yang dapat dinotasikan sebagai  $\Delta l$ .

Modulus elastisitas dapat dihitung berdasarkan grafik dengan persamaan 2.3.

$$\sigma = E\varepsilon \dots\dots\dots (2.3)$$

Persamaan ini dikenal sebagai hukum hooke, yang menjelaskan interaksi tegangan dengan regangan pada deformasi elastis. Modulus elastisitas (E) memiliki satuan gigapascal (GPa) atau *pound force per square inch* (psi). (callister, 2014).

Pada umumnya kurva tegangan-regangan termoplastis dipengaruhi oleh laju deformasi dan temperatur material. Kenaikan temperatur akan menurunkan modulus elastisitas, menurunkan kekuatan tarik, dan menaikkan keuletan. Penurunan laju deformasi membiarkan pengaruh yang sama dengan kenaikan temperatur



polimer yang membuat polimer lebih lunak dan ulet. (callister, 2014)

## 2.7 Pengujian Tekan

Pengujian tekan menunjukkan perilaku yang hampir sama dengan pengujian tarik, kecuali gaya yang digunakan adalah penekanan yakni memiliki arah yang berlawanan dengan pengujian tarik. Kurva tegangan-regangan yang dihasilkan dari pengujian tekan memiliki region yang sama dengan kurva tegangan-regangan hasil pengujian tarik. Sepertihalnya pada kurva tegangan-regangan hasil pengujian tarik, pada kurva tegangan regangan hasil pengujian tekan dapat diperoleh nilai kekuatan tarik, modulus elastisitas, elongasi, serta kekuatan luluh suatu polimer. (callister, 2014)

Nilai modulus elastisitas, tegangan, dan regangan ditentukan dengan persamaan yang sama dengan hasil pengujian tarik. Sedangkan nilai kekuatan tekan dihitung setelah material mengalami deformasi dalam presentasi tertentu. Hal ini dikarenakan oleh tidak terjadinya *necking* pada pengujian tekan (callister, 2014)

Berdasarkan hukum pencampuran maka dilakukan estimasi kekuatan tekan yang akan di capai menggunakan data yang di dapatkan pada (Callister, 2014) mengenai kekuatan tekan dari material yang ditunjukkan pada **Tabel 2.1**

**Tabel 2 1** Hasil Esitimasi kekuatan tekan yang akan di capai

no	jenis Polimer	komposisi tembaga (Wt%)	Kekuatan Tekan Teoritis (MPa)
1	PP	PP-Cu 30%	53,476
		PP-Cu 50%	68,966
		PP-Cu 70%	97,087
2	PS	PS-Cu 30%	57,211
		PS-Cu 50%	73,379
		PS-Cu 70%	102,284



3	PC	PC-Cu 30%	102,156
		PC-Cu 50%	122,926
		PC-Cu 70%	154,298

## 2.8 Peluru *Frangible*

Peluru memiliki beberapa bagian dijelaskan pada **Gambar 2.8** bahwa dalam penggunaannya yaitu proyektil (*bullet*), kelongsong (*bullet case*), mesiu (*propellant*), dan pemantik (*rim/primer*). proyektil merupakan bagian dari peluru yang meluncur di udara dan bergerak tidak dengan dorongan sendiri. berat proyektil berpengaruh pada kecepatan peluru menuju target. Bentuk dan ukuran kelongsong juga menentukan kekuatan peluru untuk terdorong ke depan. Semakin besar ukuran kelongsong maka dapat semakin banyak menyimpan mesiu sehingga menghasilkan ledakan yang lebih kuat (Kelter, 2011).

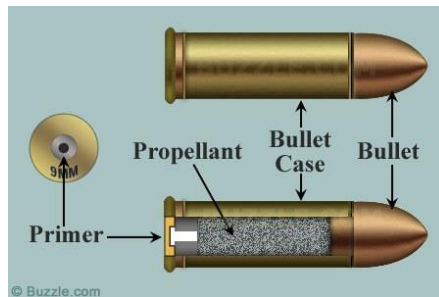
Ketika pelatuk (*Firing pin*) menghantam pemantik (*primer*) akan menimbulkan percikan yang memicu ledakan pada *propellant*. Seluruh energi yang dihasilkan digunakan untuk mendorong proyektil (*bullet*) menyusuri laras senjata dan keluar menuju target sasaran. Peluru yang keluar dari laras mampu memiliki kecepatan hingga lebih dari 400 m/detik. Peluru di desain untuk memiliki kekerasan yang cukup artinya tidak terlalu keras dan tidak terlalu lunak. Peluru yang terlalu lunak akan mengakibatkan terjadinya *leading* sedangkan peluru yang terlalu keras dapat mengurangi efek *obturation* dalam lubang laras dengan jumlah yang signifikan. *Obturation* adalah deformasi plastis peluru akibat tekanan yang dikenakan (dari mesiu yang terbakar). Kedua efek ini menjadi sangat penting karena *leading* akan menyebabkan penyempitan pada lubang laras sehingga menghambat laju peluru yang keluar. Sedangkan berkurangnya efek *obturation* akan menyebabkan kebocoran gas pada laras sehingga mengurangi performa tembakan. Maka dari itu terdapat rentan kekerasan yang berfungsi untuk setiap tekanan/level kecepatan seperti yang dijelaskan pada **Tabel 2.2**. (Kelter, 2011).





**Tabel 2.2** Rentan kekerasan peluru berdasarkan aplikasinya (Frixell, 2013)

Aplikasi	Rentan kekerasan
Target ringan (<245 m/s, 10000 psi)	6 – 12 BHN
Revolver Standar (<245 m/s, 10000 psi)	8 – 14 BHN
+P Revolver (<245 m/s, 10000 psi)	10 – 16 BHN
Revolver Magnum (<245 m/s, 10000 psi)	12 – 20 BHN
454 Casull (<245 m/s, 10000 psi)	>16 BHN



**Gambar 2.8** Bagian-bagian peluru  
(Sumber :Frixell, 2013)

Peluru *frangible* adalah peluru yang di desain untuk hancur menjadi bagian yang kecil. Peluru *frangible* digunakan untuk meminimalisir adanya kecelakaan akibat adanya pantulan peluru/ ricochet (Mates, 2006). *Ricochet* mempunyai potensi yang sangat berbahaya apabila peluru yang terpantul masih memiliki massa yang cukup besar. Massa yang cukup besar ditambah dengan kecepatan yang tersisa pada pantulan peluru akan menimbulkan energikinetik yang cukup besar. *Ricochet* memiliki kemungkinan



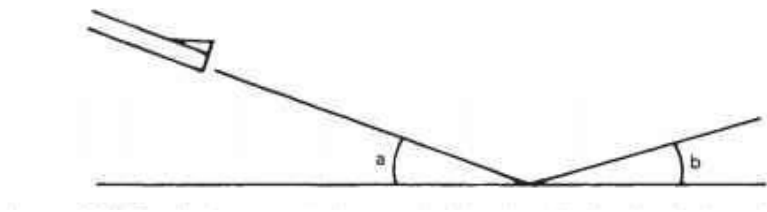
arah pantulan peluru yang beragam, memantul kembali serong ke atas hingga sampai kembali ke arah penembak atau bisa disebut “*splashback*”. Dengan penggunaan peluru *frangible* maka kemungkinan untuk terjadi *ricochet* atau *splashback* dapat diminimalisir dengan hancurnya peluru menjadi bagian-bagian yang kecil (Mullins, 2001)

Peluru *frangible* dibuat dari komposisit matriks logam dengan bahan logam atau paduan logam berupa tembaga, besi, nikel, emas, perak, rimbai, krom, dan paduan mereka, namun sangat disarankan untuk memakai tembaga atau paduan tembaga. Karakteristik peluru *frangible* ditunjukkan dengan **Tabel 2.3** berikut :

**Tabel 2.3** Karakteristik peluru *frangible* secara umum

No	Karakteristik	Nilai	Sumber
1	Massa Jenis	2,75 g/cm <sup>3</sup> – 5,25 g/cm <sup>3</sup>	Hosta (2018)
3	Kekerasan Permukaan	50-117 HV	Hosta (2018)
4	Kekuatan tekan	35-310 MPa	Hansen (2003)

Bahan tidak beracun dari seluruh logam yang digunakan sebagai pengganti peluru telah dikembangkan oleh Departemen Energi *Oak Ridge National Laboratory* (ORNL). Teknik metalurgi serbuk dapat digunakan untuk menghasilkan *metal-matrix composite* yang memiliki sifat yang mirip dengan timbal. Sifat dari bahan non timbal dapat dikendalikan sehingga fragmen peluru menjadi partikel-partikel kecil ketika menyentuh target keras, tetapi tetap utuh ketika menyentuh target yang lunak. Selain itu, kepadatan material dapat di variasikan sehingga memungkinkan untuk pengembangan desain baru dan perbaikan kinerja balistik. (mikko, 2000)



**Gambar 2.9** Skema terjadinya *Ricochet* dengan keterangan (a) adalah sudut tembakan dan (b) adalah sudut *ricochet* (Heard, 2008)

Pada penelitian yang sebelumnya tentang pengembangan peluru *frangible* (dewanto, 2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh persen massa polimaida dan temperatur sintering terhadap struktur mikro dan sifat mekanik proyektil komposit tembaga/poliamida-6 didapat bahwa dengan kadar poliamida-6 yang semakin banyak nilai densitas akan semakin turun dan poositas bertambah. Sedangkan untuk kekuatan tekan dan kekerasan mengalami penurunan. Pada penelitian ini pembuatan material dengan metode kompaksi. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Burrow. 2015) metode yang digunakan untuk pembuatan proyektil adalah *injection molding* untuk menggabungkan material Cu dan Sn. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Park,dkk,2016) dilakukan untuk membandingkan sifat thermal dan sifat mekanik dari MWCNT/polimer dan Cu/polimer dari percobaan diketahui Cu diperkuat HDPE dengan kenaikan kadar Cu dengan hasil rasio konduktifitas thermal lebih tinggi sejalan dengan sifat mekanik yang dimiliki dibuktikan dengan pengujian tarik yang telah dilakukan.

## 2.9 Tembaga (Cu)

Tembaga didapat di alam ini sebagai batuan, biasanya sebagai karbonat ( $\text{CuCO}_3$ ) dan merupakan sulfida kompleks  $\text{CuFeS}_2$  dan  $\text{CuFeS}$ . Batuan-batuan tadi dihancurkan menjadi kecil-kecil kemudian diolah untuk memisahkan campuran-campuran di dalamnya. Tembaga dari bijih-bijih tembaga tersebut, antara lain:



Koperkies ( $\text{CuFeS}_2$ ) yang mengandung  $\pm 34\%$  tembaga, Kilap tembaga ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) yang mengandung  $\pm 79\%$  tembaga, Malasit ( $\text{CuCO}_3\text{Cu(OH)}_2$ ) yang mengandung  $\pm 57\%$  tembaga. Tembaga (Cu) adalah logam dengan struktur kristal *face centered cubic* (FCC) berwarna kemerahan, memiliki konduktivitas termal dan listrik yang sangat bagus, ketahanan korosi yang bagus, mudah untuk difabrikasi, kekuatan dan ketahanan leleh yang bagus, sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai matriks maupun filler (ASM Metal Handbook Vol.2). Tembaga secara umum adalah logam yang tidak magnetik. Penggunaan tembaga murni tidak begitu familiar dengan kekuatan yang tinggi, karena tembaga murni biasanya bersifat lunak namun memiliki konduktivitas listrik yang sangat bagus. Sehingga digunakan untuk kabel, kontak elektrik, maupun alat-alat yang berhubungan dengan listrik. Seperti pada **Gambar 2.10** (Li, 2012).

Kebanyakan tembaga digunakan pada peralatan listrik dengan kuantitas sekitar 60%, dalam konstruksi atap dan pipa-pipa sebanyak 20% dan sisanya digunakan pada industri pembuatan mesin-mesin sebagai paduan (5%) dan heat exchanger (15%). Beberapa paduan utama dengan tembaga seperti perunggu, kuningan (paduan tembaga-zinc), paduan tembaga-timah-zinc, paduan tembaga dengan nikel yang dikenal juga dengan cupronickel, digunakan pada aplikasi-aplikasi seperti pembuatan senjata dan meriam dan juga sebagai logam alternatif untuk dibuat menjadi mata uang logam. Tembaga sangat ideal untuk dijadikan kabel listrik karena memiliki konduktivitas listrik yang bagus. Nilai konduktivitas listrik dari tembaga adalah sekitar  $59.6 \times 10^6 \text{ S/m}$  yang merupakan konduktivitas listrik tertinggi kedua setelah perak. Hal ini dikarenakan semua elektron valensi berkontribusi dalam proses konduksi. (Chan, 1982)

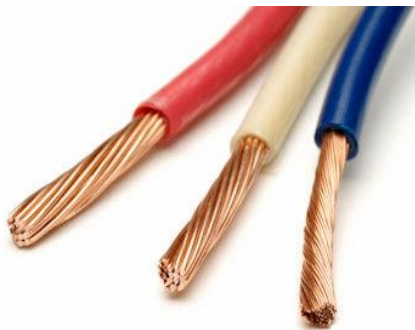
Penggunaan paduan tembaga yang digunakan saat ini antara lain perunggu (bronze), kuningan (brass), paduan tembaga-timah-seng. Paduan-paduan tersebut dapat digunakan untuk pembuatan senjata dan meriam yang tangguh, yang dikenal dengan istilah *gun metal*. Tembaga dengan *densitas*  $8,96 \text{ g/cm}^3$  dapat



digunakan untuk penggunaan material aplikatif pengganti timbal pada peluru *frangible* dengan jarak tertentu. (Nadkarni, 2003) sifat fisik dan mekanik tembaga diperlihatkan pada **Tabel 2.4**

**Tabel 2.4** Sifat Fisik dan Mekanik Tembaga  
(Li, 2012)

No	Sifat Tembaga	Nilai
1	Nomor atom	29
2	Massa Atom (g/mol)	63,54
3	Titik leleh ( $^{\circ}\text{C}$ )	1083
4	Densitas ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	8,95
5	Konduktivitas Thermal ( $\text{Wm}/\text{K}$ )	391
6	Modulus Elastisitas (GPa)	117
7	Kekuatan tarik	200-250 MPa
8	Kekuatan luluh	40-120 Mpa
7	Hardness (HV)	117



**Gambar 2.10** Aplikasi Tembaga Sebagai Kabel  
(Li, 2012)

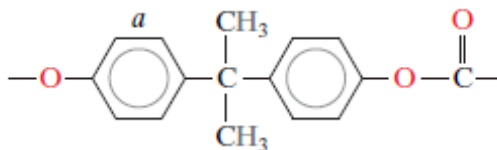
## 2.10 Polikarbonat (PC)

Polikarbonat ditemukan pada tahun 1953 di Amerika dan Jerman. Ilmuwan General Electric, Daniel W. Fox menemukan

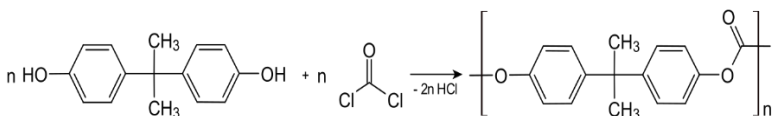


polikarbonat saat mengerjakan material pelapis kabel, setelah beberapa hari lapisan menjadi keras dan tembus pandang. Sementara itu, di Jerman, Herman Schnell menemukan polikarbonat di laboratorium Bayer. Pada tahun 1958, kedua perusahaan tersebut mulai mengembangkan produksi polikarbonat. General Electric mengembangkan polikarbonat pada bidang optik karena tahan bentur dan tahan panas yang memungkinkan penyimpanan film atau perangkat lunak di dalam disket optik. Sementara itu, perusahaan Bayer mengaplikasikan polikarbonat pada bidang otomotif dan pesawat terbang karena tahan bentur pada suhu rendah. Kemudian General Electric dan Bayer bekerja sama dalam menghasilkan produksi jendela. Kemudian polikarbonat berkembang pesat untuk produksi disket optik, telepon selular, eksterior otomotif dan masih banyak lagi. Kini polikarbonat diperdagangkan dengan nama Makrolon (Bayer, Jerman), Lexan (General Electric, Amerika Serikat), dan Merlon (Mobay Chemical). (Brydson, 1982)

Polikarbonat merupakan *engineering plastic* yang dibuat dari reaksi kondensasi bisphenol A dengan fosgen (*phosgene*) dalam media alkali (Mujiarto, 2005). Polikarbonat memiliki *repeating Unit* seperti pada **Gambar 2.11**



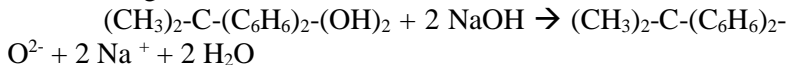
**Gambar 2.11** Monomer Polikarbonat  
(Callister, 2014)



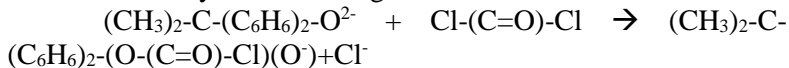
**Gambar 2.12** Reaksi *Bisphenol A* dan fosgen  $\text{COCl}_2$   
(Brydson, 1982)



Sebagaimana yang dijelaskan **Gambar 2.12** *Polycarbonate* dapat dibuat dengan menggunakan bisfenol A dan fosgen (karbonil diklorida,  $\text{COCl}_2$ ). Langkah awal dalam sintesis polycarbonate adalah dengan melakukan deprotonisasi bisfenol A dengan natrium hidroksida sehingga terbentuk air. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Molekul oksigen pada bisfenol yang terdeprotonisasi bereaksi dengan fosgen melalui adisi karbonil dan menghasilkan ion  $\text{Cl}^-$ . Reaksinya adalah sebagai berikut:



Lalu gugus kloroformat ( $\text{O-C(=O)-Cl}$ ) yang terbentuk menempel pada gugus bisfenol yang lainnya sehingga rantai panjang polikarbonat terbentuk dan meninggalkan ion  $\text{Cl}^-$ .

Polikarbonat memiliki sifat transparan, kekuatan impact yang baik, ketahanan terhadap pengaruh cuaca bagus, temperatur penggunaannya tinggi, mudah diproses, serta *flameability* nya rendah. Polimer memiliki nilai kekuatan tertinggi dibanding polimer termoplas lainnya. Polimer ini banyak digunakan sebagai material pertahanan karena memiliki *yield strain* dan keuletan tinggi (Wright, 1993) sifat fisik dan mekanik ditunjukkan oleh tabel 2.4

Polikarbonat menurut brydson (1982) memiliki beberapa keunggulan, yaitu :

- Jernih.
- Ringan.
- Polikarbonat  $\frac{1}{2}$  kali lebih ringan dari kaca dan 43% dari aluminium.
- Kuat dan tahan terhadap bentur.
- Polikarbonat sangat sulit untuk patah, kekuatannya mencapai 200 kali kaca dan 10 kali akrilik.
- Transmisi cahaya sangat bagus, Tergantung dari sifat permukaan dan warna, polikarbonat dapat mentransmisi



cahaya dari 42%-83% tanpa menyerap panas. Dan karena material ini bersifat menyebarkan cahaya maka mengurangi silau.

- Stabil dalam suhu, Bentuk dan kekuatan polikarbonat stabil dalam rentang suhu 14°C-400°C.
- Tidak berubah bentuk ketika dibebani.
- Tidak tembus air.
- Insulasi listrik bagus.
- Fleksibel, tahan lama dan dapat didaur ulang.

Keunggulan ini juga dimiliki oleh jenis plastik lain, tapi hanya polikarbonat yang mengandung kombinasi dari semua keunggulan tersebut. Sehingga memungkinkan aplikasi polikarbonat dengan menonjolkan dua atau lebih keunggulan sekaligus dan tidak ada jenis plastik lain yang lebih terjangkau untuk kombinasi seperti ini. berdasarkan hal tersebut sifat fisik dan mekanik dijelaskan pada **Tabel 2.5**.

**Tabel 2 5** Sifat fisik dan mekanik polikarbonat  
(Callister, 2014)

No	Sifat	Nilai
1	<i>Specific gravity</i>	1,2
2	Kekuatan Tarik (Mpa)	62,8-72,4
3	Kekuatan Tekan (Mpa)	81,5
4	Modulus Elastisitas (GPa)	2,38
5	Elongasi (%)	110-150
6	Temperatur Leleh ( $^{\circ}\text{C}$ )	147
7	Densitas ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1,2
8	Kekerasan (HV)	14

Walaupun polikarbonat menurut Brydson (1982) memiliki banyak keunggulan, namun material ini juga memiliki beberapa kelemahan, menurut Brydson (1982) yaitu :

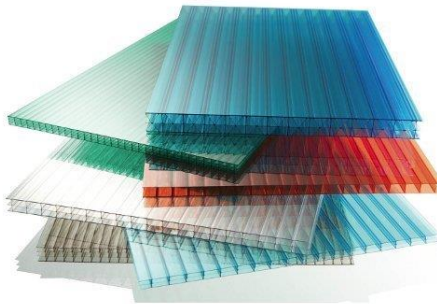
1. Tidak tahan terhadap bahan kimia dan gores. Ada sekitar 20 bahan kimia yang dapat merusak polikarbonat,





- beberapa di antaranya adalah acetone, benzene, dan chloroform.
2. Menguning, retak, dan melemah jika terkena sinar ultraviolet dalam jangka waktu panjang. Kedua kelemahan ini dapat diatasi dengan memberikan pelapis yang tepat .
  3. Lebih mahal dari kaca dan akrilik. Walaupun harga material ini lebih mahal, tapi pemanfaatannya menghemat biaya karena kuat, tahan lama sehingga tidak butuh banyak perawatan dan konstruksinya ringan sehingga tidak butuh banyak pekerja salah satu aplikasinya yakni pada **Gambar 2.13**.
  4. Memiliki batas stabilitas terhadap kelembaban. Kelembaban di atas 200°C dapat mengakibatkan permukaan berembun.
  5. Jika terbakar dapat menimbulkan asap yang bau dan beracun.

Untuk menghasilkan produk-produknya melalui proses pengolahan termoplastik pada umumnya, yaitu *injection molding*, ekstrusi, *blow molding*, dan *structural foam moulding* (Mujiarto, 2005)



**Gambar 2.13** Aplikasi Material Polikarbonat  
(Mujiarto, 2005)



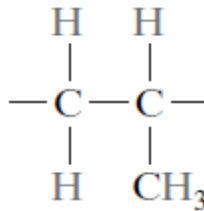
## 2.11 Polipropilena (PP)

Polipropilena merupakan sebuah olimer hidrokarbon linier hasil reaksi polimerisasi dari propilena ( $C_3H_6$ ) seperti pada **Gambar 2.14**, polipropilena termasuk jenis polimer semikristalin, yakni terdiri dari campuran bagian kristalin dan amorfus (Rachman A, 2008)

Polimer ini merupakan salah satu jenis polimer komoditi, yang digemari karena sifatnya yang baik seperti ketahanan terhadap bahan kimia yang baik, permeabilitas terhadap air rendah, serta harganya yang murah meskipun dikenal memiliki kekakuan dan impact strength yang tinggi. Penelitian terhadap *polypropylene* juga dilakukan dengan membuat komposit dengan 3 jenis campuran, pertama *polypropylene* matrik murni (tanpa serat), kedua *polypropylene* dengan 30% serat rami, ketiga *polypropylene* dengan 30% serat sisal. Dari penelitian didapat kekuatan tarik terbaik pada *polypropylene* ditambah 30% serat rami dengan nilai 32,0 Mpa kemudian *polypropylene* ditambah 30% serat sisal sebesar 26,6 Mpa dan terakhir *polypropylene* murni kekuatan tariknya sebesar 26,0 Mpa (Ridwan, 2013).

Penelitian menggunakan *polypropylene* sebagai matrik yang berpenguat 2 jenis serat yakni serat pandan dan serat batang pisang dan merumuskan bahwa *polypropylene* berserat pandan memiliki kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan dengan *polypropylene* berserat batang pisang (kiki, 2009).

Penggunaan polimer ini diantaranya sebagai material dalam bagian-bagian monil dan perkakas, tali, anyaman karpet, dan film. Sifat fisik dan mekanik polipropilena ditunjukkan oleh tabel. Untuk menghasilkan produk-produknya melalui proses pengolahan termoplastik pada umumnya, yaitu *injection molding*, ekstrusi, *blow molding*, dan *structural foam molding*. (Mujiarto, 2005). Pada **Tabel 2.6** dijelaskan mengenai sifat mekanik Polipropilena



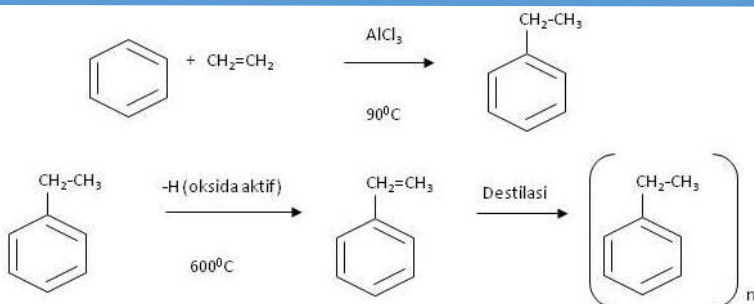
**Gambar 2.14** Monomer Polipropilena  
(Callister, 2014)

**Tabel 2.6** Sifat fisik dan mekanik Polipropilena  
(Callister, 2014)

No	Sifat	Nilai
1	<i>Specific gravity</i>	0,91
2	Kekuatan Tarik (Mpa)	35,8
3	Kekuatan Tekan (Mpa)	40
4	Modulus Elastisitas (GPa)	1,14-1,55
5	Elongasi (%)	100-600
6	Temperatur Leleh ( $^{\circ}\text{C}$ )	120
7	Densitas ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0,86
8	Kekerasan (HV)	7

## 2.12 Polistirena (PS)

Polistirena merupakan salah satu jenis polimer yang terbentuk dari monomer stirena yang merupakan turunan dari benzena. Polimer ini tersusun atas ikatan sederhana antara kepala dan ekor dari unit monomer dan bersifat *amorphous*. Pada temperatur kamar polistirena berwujud padat dan termoplastik, tetapi dapat meleleh pada temperatur yang tinggi dalam pencetakan dan proses ekstruksi ( pelelehan polimer). Proses pembentukan monomer stirena dan proses pembentukan polistirena dapat dilihat pada **Gambar 2.15** berikut ini.(Billmeyer, 1984)



**Gambar 2.15** Proses reaksi polistirena  
(Billmeyer, 1984)

Polistirena merupakan hasil polimerisasi dari monomer-monomer stirena, dimana monomer stirenya dapat diperoleh dari hasil proses dehidrogenisasi dari etil benzena (dengan bantuan katalis), sedangkan etil benzenanya sendiri merupakan hasil reaksi antara etilena dengan benzena (dengan bantuan katalis). (Billmeyer, 1984)

Menurut Suminar (2007) Sifat-sifat umum dari polistirena (PS) dapat dilihat sebagai berikut :

### 1. Sifat mekanis

Sifat-sifat mekanis yang menonjol dari bahan ini adalah kaku, keras, mempunyai bunyi seperti metalik bila dijatuhkan.

### 2. Ketahanan terhadap bahan kimia

Ketahanan PS terhadap bahan-bahan kimia umumnya tidak sebaik ketahanan yang dipunyai oleh PP (Polipropilena) atau PE (Polietilena). PS larut dalam eter, hidrokarbon aromatik dan hidrokarbon mengandung klor. PS juga mempunyai daya serap air yang rendah, yaitu di bawah 0,25%.

### 3. Ketahanan abrasi

PS mempunyai kekuatan permukaan relative lebih keras dibandingkan dengan jenis termoplastik yang lain.

### 4. Transparansi

Sifat optis dari PS adalah mempunyai derajat transparansi yang tinggi, dapat melalui semua panjang gelombang cahaya (Absorbansi sekitar 90%). Disamping itu dapat memberikan



kilauan yang baik yang tidak dimiliki oleh jenis plastik lain, dimana bahan ini mempunyai indeks refraksi sebesar 1,592.

### 5. Sifat elektrikal

Karena mempunyai sifat daya serap air yang rendah maka PS digunakan untuk keperluan alat-alat listrik. PS foil digunakan untuk pelapis dari kapasitor, koil dan keperluan radar.

### 6. Ketahanan panas

PS mempunyai softening point rendah (90°C) sehingga PS tidak digunakan untuk pemakaian pada suhu tinggi atau misalnya pada makanan yang panas. Suhu maksimum yang boleh dikenakan dalam pemakaian adalah 75°C, selain itu PS mempunyai sifat konduktifitas panas yang rendah. Polistirena memiliki berbagai aplikasi di dalam kehidupan sehari-hari. Polistirena dapat ditemukan dalam berbagai bentuk dan kegunaan seperti mangkuk sup, sendok, gelas, gelas kopi dan sebagainya, serta dapat dijumpai di rumah, kantor maupun di restoran.

Untuk sifat mekanik yang dimiliki oleh polistirena dapat dilihat pada **Tabel 2.7**

**Tabel 2.7** Sifat Fisik dan Mekanik Polistirena  
(Callister, 2014)

No	Sifat	Nilai
1	<i>Specific gravity</i>	1.04-1,05
2	Kekuatan Tarik (Mpa)	35,9-51,7
3	Kekuatan Tekan (Mpa)	43
4	Modulus Elastisitas (GPa)	2,28-3,28
5	Elongasi (%)	1.2-3.5
6	Temperatur Leleh (°C)	240
7	Kekerasan (HV)	12,5
8	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	0,96-1,04

## 2.13 Proses Manufaktur Material Komposit

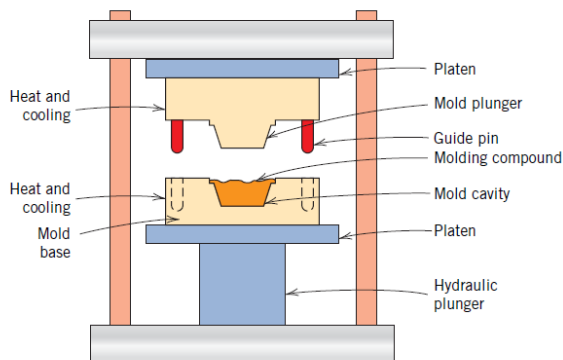
*Molding* adalah metode yang paling banyak digunakan dalam pembentukan material komposit berbasis termoplastik. Berikut



merupakan beberapa metode manufaktur material komposit yang biasa digunakan.

### 2.7.1 *Compression Molding*

metode ini memanfaatkan tekanan untuk pembuatan material komposit. Cetakan ditutup kemudian diberikan panas dan tekanan yang menyebabkan material melunak serta mengalir menyesuaikan dengan bentuk cetakan. Secara umum *compression molding* ditunjukkan oleh gambar.



**Gambar 2.16** Skema Kompresi molding  
(Callister, 2014)

Sebelum pembentukan, *raw Material* harus di *mixing* dan dilakukan *pre heating* untuk mengurangi waktu *molding* dan tekanan yang digunakan, sehingga mampu menekan waktu pengerjaan serta meningkatkan jumlah yang dihasilkan. Selain itu *transfer molding* adalah salah satu modifikasi dari *compression molding*. Pada *transfer molding*, *raw material* dilelehkan dalam *heating chamber*, setelah material meleleh kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan dengan menggunakan tekanan tertentu seperti skema pada **Gambar 2.16**. (Callister, 2014)

### 2.7.2 *Injection Molding*



Injeksi adalah metode yang paling banyak digunakan dalam pembentukan polimer. **Gambar 2.17** menunjukkan skema injeksi.

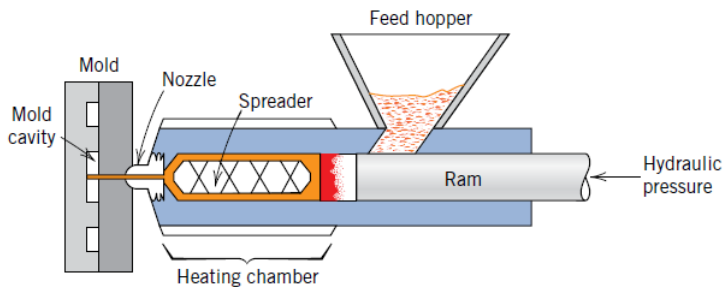
Dalam proses ini pelet dengan jumlah tertentu dimasukkan ke dalam *hopper* yang kemudian akan dipindahkan ke dalam silinder pemanas seara bertahap. Lelehan material dalam silinder kemudian diinjeksikan ke dalam rongga cetakan melalui *nozzle* sehingga memenuhi dan menyesuaikan dengan rongga cetakan. Proses ini dapat menghasilkan banyak produk dengan bentuk rumit (Callister, 2014)

### 2.7.3 Ekstrusi

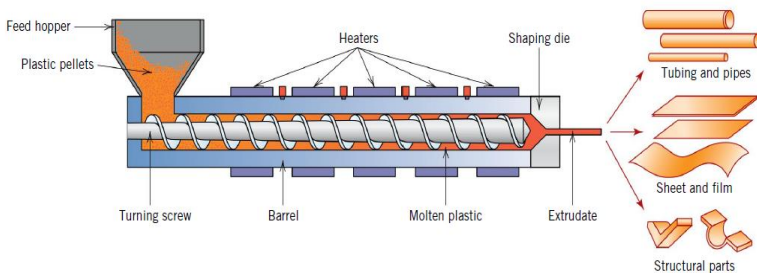
Ekstrusi adalah proses pembentukan material komposit yang cukup sederhana. metode ini biasanya digunakan untuk membuat produk sederhana seperti tabung, lembaran dan film. Secara mekanik ulir dalam silinder menekan, melelehkan serta mendorong material sehingga keluar secara kontinu menjadi bentuk sesuai dengan bentuk *nozzle* pada **gambar 2.18**. (Callister, 2014)

### 2.7.4 Casting

Seperti metal, material polimer juga dapat dicetak, ketika material plastik cair dituang dalam cetakan dan dibiarkan agar terjadi solidifikasi. Semua termoplastik dan termoset dapat di cetak. Untuk termoplastik, solidifikasiterjadi ketika pendinginan dari kedudukan cair. Namun, untuk termoset, hardening adalah konsekwensi atau hasil dari proses curing / proses polimerisasi. Yang biasanya diikuti oleh kenaikan temperatur. (Callister, 2014)



**Gambar 2.17** Skema Injection Molding  
(Callister, 2014)



**Gambar 2.18** Diagram skema ekstruder  
(Callister, 2014)

## 2.14 Perhitungan Nilai Densitas

Untuk mendukung data eksperimen yang di dapat maka perlu mendapatkan datayang toritis dari komposit, untuk mendapatkan data densitas dari komposit bisa menggunakan *rule of mixture* dengan persamaan sebagai berikut (Callister, 2014) :

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- $\rho_c$  = Densitas komposit
- $\rho_m$  = Densitas matriks
- $\rho_f$  = Densitas penguat
- $V_m$  = Fraksi volume matriks





$$V_f = \text{Fraksi volume penguat}$$

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$\rho$  = Densitas

m = massa

v = volume

dengan menggunakan rumus densitas 2.2 maka akan diperoleh fraksi massa dengan rumus berikut ,

$$m_m = a \cdot m_c \text{ dan } m_m = b \cdot m_c \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

$m_m$  = massa matriks

$m_f$  = massa fiber

$m_c$  = massa komposit

a = fraksi massa matriks

b = fraksi massa penguat

data teoritis dari massa setiap fraksi (matriks atau *reinforced*) dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

**a. Massa Matriks**

$$m_m = a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_m + b \cdot \rho_m} \cdot V_c \dots \dots \dots (2.4)$$

**b. Massa *reinforce***

$$m_f = a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot V_c \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

$V_c$  = volume komposit

Dari Rumus yang di ketahui maka dilakukan estimasi untuk menentukan nilai densitas yang kemungkinan akan di capai pada percobaan dengan data yang di dapat dari (Callister, 2014) dengan perhitungan massa total komposit adalah 6 gram pada **Tabel 2.8**

**Tabel 2.8** Hasil estimasi densitas yang akan di capai

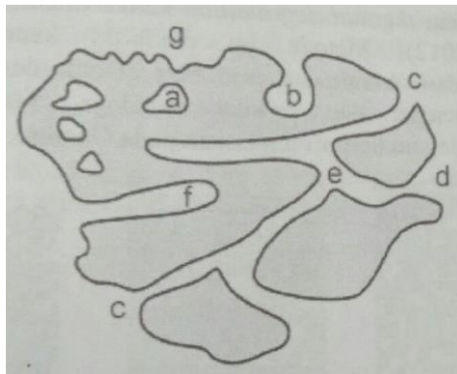
no	jenis Polimer	komposisi tembaga (Wt%)	Densitas Teoritis (g/cm <sup>3</sup> )
1	PP	PP-Cu 30%	1,173



2	PS	PP-Cu 50%	1,561
		PP-Cu 70%	2,331
		PS-Cu 30%	1,311
		PS-Cu 50%	1,734
		PS-Cu 70%	2,560
3	PC	PC-Cu 30%	1,621
		PC-Cu 50%	2,117
		PC-Cu 70%	3,048

## 2.15 Porositas

Pori adalah rongga, terusan dari rongga udara atau sela dari rongga udara dalam material dimana berbentuk lebih dalam daripada luasannya. Yang lebih jelasnya untuk jenis-jenisnya di jelaskan pada **Gambar 2.19**.



**Gambar 2.19** Jenis-jenis porositas (a) pori tertutup, (b), (c), (d), (e), (f) pori terbuka, (b) (f) pori buntu. Berdasarkan bentuknya (c) Silinder terbuka, (f) silinder Buntu, (b) berbentuk botol tinta, (d) berbentuk corong, (e) berbentuk kasar  
(Zhou, 2011)

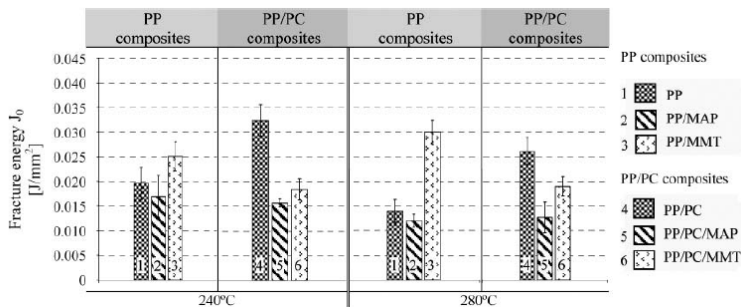
Porositas adalah rasio dari total volume pori ( $V_p$ ) terhadap *apparent volume* dari partikel atau serbuk. Porositas merupakan



fraks dari material yang total volumenya merupakan ruang kosong. Porositas terbuka dan porositas tertutup memiliki kemampuan untuk melewatkan udara atau cairan melalui benda tersebut dan porositas terbuka memiliki kemampuan untuk menyaring partikel yang melewati benda tersebut. Sementara porositas tertutup cenderung lebih kecil dan terisolasi. Jumlah total dari porositas sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dari benda berpori. (German, 1984)

## 2.16 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian sebelumnya telah mempelajari interaksi, karakteristik maupun aplikasi dari material komposit Cu/PC maupun PC yang dipadukan dengan material yang lain dan Cu yang juga dipadukan dengan material yang lain.



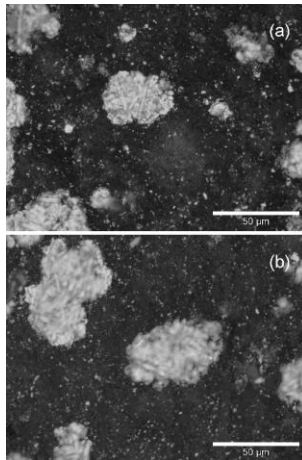
**Gambar 2.20** Hasil penelitian dari Bilewicz (2007) mengenai komposit campuran PP/PC menggunakan metode injection molding

M. Bilewicz (2007) melakukan penelitian pada polimer blend. Seperti yang terlihat pada **Gambar 2.20** Variabel yang digunakan adalah komposisi polipropilen, polikarbonat dan *montmorillonite* (MMT) dengan menggunakan injection molding serta temperatur injeksi 240<sup>0</sup> C dan 280<sup>0</sup> C. Berdasarkan hasil pengujian, pc terdistribusi dengan baik dalam matriks. Kenaikan temperatur injeksi menyebabkan turunnya *fracture toughness*.

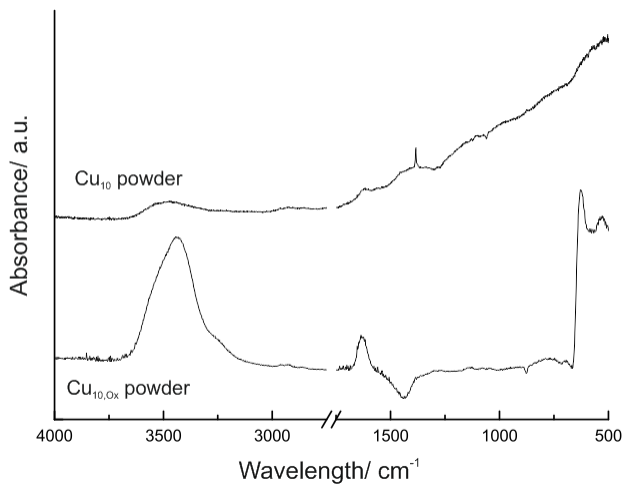


penambahan MMT meningkatkan penguatan sistem, serta menaikkan *fracture toughness*. Pada komposisi tersebut pellet polimer di *blend* di dalam *rotative drum* dengan kecepatan 60 rpm pada polimer yang digunakan pada percobaan tersebut yang berperan sebagai matriks adalah PP (*polypropilene*) dan yang berperan sebagai fasa *disperse-particle* adalah (*polycarbonate*)PC. Yang membentuk komposit polimer-polimer. (Bilewicz, 2007)

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh kensaku sonoda (2011) pada jurnal ini, hal yang diteliti adalah mengenai sifat dielektrik dari komposit bubuk Cu/polimer. Pada penelitian ini komposit thermoplastik diukur dengan frekuensi tinggi 1GHz untuk menentukan sifat dielektriknya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *injection molding*. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah bubuk tembaga yang sudah disintesis dengan HCl setelah itu plimer yang dipergunakan adalah polipropilena-*graft-poly*(ER). Pada penelitian ini pencampuran dilakukan dengan menuangkan bubuk Cu dan pelet ER ke dalam extruder dengan temperatur 200°C dan dilakukan dengan kecepatan 60 rpm. Setelah itu ditunggu selama 20 menit agar homogen. Setelah dimasukkan ke dalam extruder material dimasukkan ke dalam *injection molding* dengan silinder pada temperatur 230°C dan cetakan temperatur 40-100°C.



**Gambar 2.21** Hasil struktur mikro komposit Cu/ER dengan skala perbesaran 50 µm (Sonoda, 2011)



**Gambar 2.22** Hasil FTIR bubuk Cu dari hasil percobaan (Sonoda, 2011)

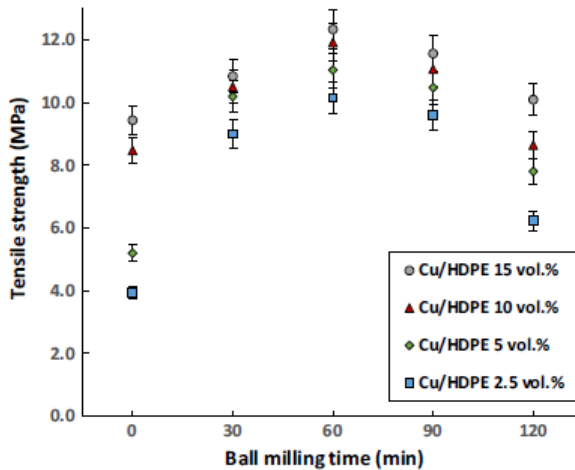


merata dengan ukuran rata-rata 10  $\mu\text{m}$ . meskipun ukuran yang tersebar berbeda beda namun persebaran Cu tersebar secara merata ke berbagai bagian. Dari penelitian ini seiring dengan penambahan Cu maka nilai dielektrik dari komposit semakin bertambah (Sonoda, 2011).

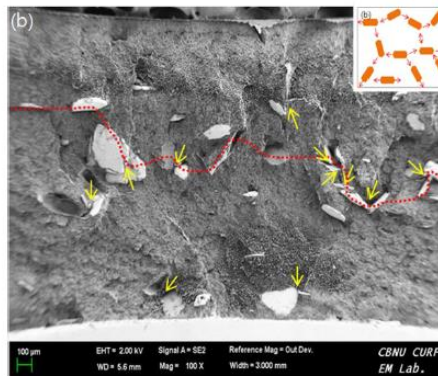
Selain itu dilakukan pengujian FTIR pada **Gambar 2.22** pada bubuk Cu yang telah disintetis dan tidak disintetis. Pada bubuk Cu biasa tidak ada tanda-tanda keberadaan *peak*  $\text{Cu}_2\text{O}$  sehingga pada bubuk ini diyakini tahan korosi. Lalu pada bubuk Cu pada spektrum pada bagian bawah grafik FT-IR diketahui adanya unsur tembaga oksida pada *peak*  $620\text{ cm}^{-1}$ . *Peak* diantara  $3500\text{ cm}^{-1}$  merupakan permukaan yang dapat menyerap air/ permukaan grup *surface hydroxyl*.

Penelitian oleh George B Davis (2001) mengenai peluru berproyektil fragile dengan jaket. Pada material ini material yang digunakan campuran nylon, powder Cu, powder W (dapat menggunakan polimer thermoplastik tipe lain, diutamakan poliamida, poliester, dan poliurethane, dengan campuran serbuk logam densitas tinggi lainnya, terutama Zn, Sn, W, Cu) core density 6.0. pada peluru tersebut core pada ujung depan (penumbuk) tanpa jaket, sehingga jaket bisa ikut pecah saat menumbuk target keras akibat *shock transfer* oleh proyektil *frangible*.

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Hyeong Jeung Park (2016) mengenai studi eksperimental tentang termal dan sifat mekanik komposit Cu/Polimer disini metode yang digunakan adalah ball mill untuk menghaluskan bubuk Cu selanjutnya untuk metode manufakturnya menggunakan melt blending dengan mencampurkan bubuk Cu dengan HDPE. Berdasarkan pada **Gambar 2.23** dari pengujian ini dihasilkan bahwa HDPE dengan di perkuat Cu meningkatkan rasio konduktivitas thermal hingga 2,7. Sedangkan, selain itu seiring dengan peningkatan kadar Cu maka kekuatan tarik semakin tinggi. dengan morfologi permukaan hasil SEM yang terlihat pada **Gambar 2.24**



**Gambar 2.23** Hasil pengujian tarik komposit Cu/HDPE  
(Park, 2016)



**Gambar 2.24** Hasil uji SEM komposit Cu/HDPE  
(Park, 2016)

Pada penelitian yang dilakukan oleh West et.al, 1995 mengenai amunisi *Lead-Free* disini didapatkan peluru frangible dengan paduan Cu dan Sn dengan metode pembuatan metal



injection molding. Dengan komposisi kadar Cu 85% hingga 93 % selain itu diketahui bahwa peluru yang dibuat memiliki nilai impak *izod* sebesar 5,7-14,6 ft-lb/in, kekuatan tarik sebesar 3500-5500 psi, elongation 300-400%, dan *softening point* 160°F

Pada penelitian yang dilakukan Kruachatturat dengan variabel komposisi serbuk Cu-Sn dan temperatur sintering dilakukan pemanasan selama 45 menit dan dilakukan kompaksi. Variabel dengan hasil paling optimal pada perbandingan komposisi serbuk 90:10 persen berat Cu-Sn dengan temperatur sintering 800°C dilaikekuatan tekan 49-214 Mpa, di dalam rentang peluru *frangible* komersial 31-310 Mpa

Selain itu penelitian yang dilakukan Belanger tahun 1993 menjelaskan bahwa peluru *frangible* untuk aplikasi latihan berbahan baku serbuk Cu di atas 90% dengan pengikat Nylon 11. Ukuran serbuk Cu 200 mesh, ukuran serbuk nylon 11, 44 mikron ke bawah. pencampuran dengan metode *injection molding*. Sehingga didapat peluru *frangible* bermasa jenis 5,7 g/cm<sup>3</sup>. Massa proyektil kaliber 5,56 mm 36 grain dan massa proyektil 9 mm 85 grain,. Densitas 5,7 g/cm<sup>3</sup> adalah densitas minimal untuk mendapatkan proyektil dengan sifat balistik terbaik.

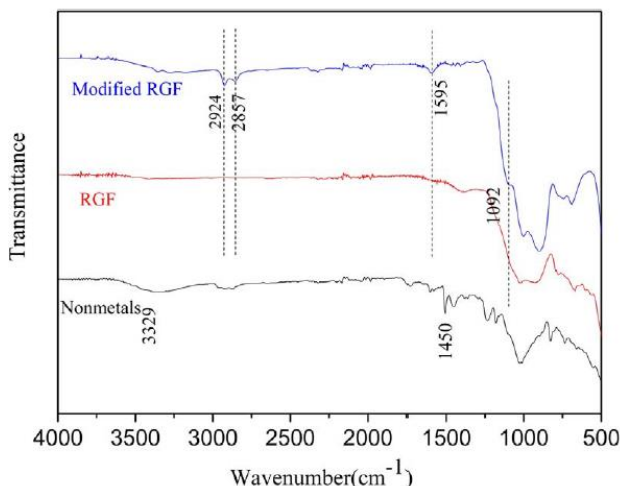
Penelitian lain dilakukan Ping Zhu,dkk tahun 2017, pada penelitian ini dibahas mengenai produksi dan karakterisasi dari material komposit polikarbonat daur ulang yang mengandung serat kaca daur ulang. Metode yang digunakan untuk pemrosesan polikarbonat adalah dengan memberikan 1 mol/Liter NaOH untuk membersihkan reflection layer yang mengandung aluminium selanjutnya material direndam ke dalam air suling dan dikeringkan selama 6 jam setelah itu Polikarbonat di hancurkan hingga ukuran 1-5 mm<sup>2</sup> hingga menjadi matriks pada eksperimen ini. setelah itu material dilakukan mixing pada high speed mixer pada temperatur 40°C dalam waktu 40 menit setelah itu dilakukan ekstrusi pada ekstruder ulir ganda setelah itu material dipanaskan selama 6 jam dalam temperatur 90°C dan dilakukan proses cetakan injeksi untuk membentuk spesimen pengujian. Seiring dengan kenaikan kadar





glass Fiber maka terjadi kenaikan pula pada kekuatan tarik dan impak material dan mencapai kondisi optimal dengan kadar 40%.

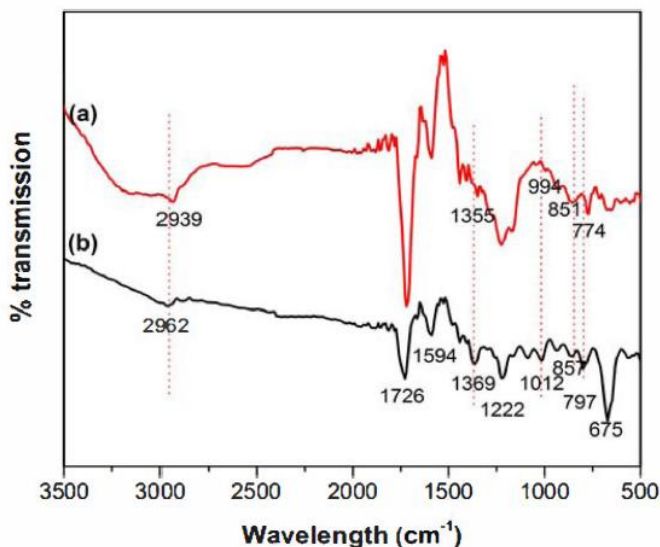
Berdasarkan pada jurnal, penelitian yang dilakukan didapatkan hasil FT-IR dari komposit polikarbonat dan serat gelas. Dari pengujian yang dilakukan seperti pada **Gambar 2.25** beberapa ikatan absorpsi diperlihatkan pada bagian nonmetal dan nilai hilang absorpsi yang tinggi diperlihatkan pada bagian non metal. Seperti puncak fibrasi yang mengalami *stretching* dari N-H pada  $3329\text{ cm}^{-1}$  atau puncak *bending vibration* dari C-H pada  $1450\text{ cm}^{-1}$ . Dari gambar tersebut menunjukkan proses laku panas menghilangkan komponen organik non-metal. Puncak absorpsi baru ditemukan pada *modified RGF* yang pemrosesannya dengan coupling agent KH-550 dan dicampur dengan methanol, pada puncak  $2924\text{ cm}^{-1}$ ,  $2857\text{ cm}^{-1}$  yang didapat yakni Si-O-CH<sub>3</sub> yang didapat dari hasil modifikasi. Dan puncak  $1595\text{ cm}^{-1}$  cocok dengan -HN<sub>2</sub>. Si-O-Si yang di dapat pada  $1092\text{ cm}^{-1}$  reaksi kondensasi dari hasil modifikasi.



**Gambar 2.25** Hasil pengujian FTIR polikarbonat diperkuat serat gelas modifikasi (*Modified RGF*), serat gelas daur ulang(*RGF*), dan tanpa penguat (*nonmetals*)  
(Zhu, 2017)



Pada penelitian yang dilakukan oleh Aijie Liu.dkk tahun 2011 mengenai preparasi dan karakterisasi komposit polimer-tembaga dengan *electro explosion*. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk polianilin dan asam polianilin (PAA) yang didapat dari Alfa Aesar yang nantinya di gabung dan dijadikan komposit. Dan juga kabel tembaga dengan ukuran diameter 0,2 mm yang nantinya disintesis dan menjadi nano material. Metode yang digunakan adalah *electro explosion*. Pada penelitian tersebut didapat hasil FTIR yang terlihat pada **Gambar 2.26**



**Gambar 2.26** Hasil FTIR (a) PANI/PAA (b) PANI/PAA – Cu  
(Liu.dkk , 2011)

*Main band* dari 2 material pada posisi yang sama tapi hanya memiliki intensitas yang berbeda. Puncak pada  $2939\text{ cm}^{-1}$  adalah *stretching vibration* dari rantai C – H dalam polimer. Rantai yang tajam dan paling kuat ( $1726\text{ cm}^{-1}$ ) diketahui C = O *stretching vibration* dari kelompok karboksilik (COOH). *Band* pada  $1594$



$\text{cm}^{-1}$  merupakan bentuk stretching dari vibrasi dari cincin quinoid. Band pada  $1153 \text{ cm}^{-1}$  merupakan ciri khas C-H *in plane* dan band  $851 \text{ cm}^{-1}$ ,  $675 \text{ cm}^{-1}$  merupakan jenis pergeseran *out-of-plane* dari C-H. Dari hasil tersebut terdapat pergeseran antar *peak* sehingga dapat dipastikan adanya interaksi antara tembaga dan polimer. Sehingga dari hasil ini dapat di disimpulkan serbuk Cu yang tertanam dalam polimer dapat menyebabkan pergeseran pada rantai polimer.

**Tabel 2.9** Rangkaian Penelitian Sebelumnya mengenai pengembang peluru *frangible* berbahan penyusun polimer

Nama Peneliti	Penelitian Yang Dilakukan	Hasil Penelitian
Banovic (2007)	Proyektil <i>frangible</i> untuk menguji <i>body armor</i> proyektil dibuat dengan proses metalurgi serbuk dengan bahan baku Cu-Sn	Nilai kekerasan 3 spesimen mencapai 22,9 HRB, 21,6 HRB, dan 22,4 HRB
Kruachatturat (2009)	Menggunakan variabel dengan variasi komposisi Cu-Sn dan temperatur sintering dan pemanasan 45 menit dalam furnace	Variabel dengan hasil paling optimal pada perbandingan komposisi serbuk 90:10 persen berat Cu-Sn dengan temperatur sintering $800^{\circ}\text{C}$ nilai kekuatan tekan 49- 214 MPa, di dalam rentang peluru <i>frangible</i> komersial 31-310 MPa.
Vicko (2015)	Pengaruh temperatur sintering terhadap variasi Cu-10% wt Sn	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Semakin tinggi temperatur sintering maka presentase senyawa intermetalik semakin banyak</li> <li>- Semakin tinggi temperatur sintering maka sifat mekanik meningkat</li> </ul>



Marc Potvin (1993)	Komposisi dan bahan <i>polymer binder</i> dengan berbagai variasi komposisi Poliamida 6 Penelitian menggunakan variasi komposisi polimer dengan bahan Cu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kekuatan tarik naik jika komposisi poliamida naik.</li> <li>- Densitas turun jika komposisi poliamida naik</li> </ul>
George B Davis (2001)	ditambahkan dengan beberapa variasi jenis polimer antara lain PA, PE, PVA dengan komposisi polimer <10%wt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poliamida 6 lebih <i>frangible</i> dibandingkan poliamida 11</li> <li>- PE berikatan dengan lebih baik dibandingkan yang lain</li> </ul>
jose A.C M (2013)	Variasi komposisi <i>polymer binder</i> dan temperatur yakni bahan dasar tembaga	
Christopher W. Kolb (2006)	ditambahkan Polianilin, PVA, PU dengan temperatur 200 °C dengan komposisi 2,5% wt polimer Jenis matriks yang digunakan yakni Cu, Fe, Bi, W	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kekerasan meningkat seiring kenaikan temperatur sintering</li> </ul>
Anthony Joseph Cesaroni (2009)	dengan polimer yang digunakan yakni Poliamida 6 Variasi komposisi <i>polymer binder</i> yang digunakan dengan bahan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Semua peluru pecah menjadi serbuk saat mengenai plat baja</li> </ul>
Jhon D. Leasure (2014)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Semakin tinggi persen berat <i>polymer binder</i> maka densitas proyektil menurun</li> </ul>



	utama Cu ditambahkan dengan 30% wt <i>polymer binder</i>	- Semakin tinggi densitas derajat pengurangan terjadinya <i>ricochet</i> juga meningkat
Khoiril Metrima F. (2015)	Variasi temperatur sintering dengan komposisi binder 10% wt Sn dengan variasi temperatur sintering antara 200°C – 600° C	- Semakin tinggi temperatur sintering maka <i>fragibility factor</i> peluru turun
Romlan Sidiq (2015)	Pengaruh komposisi binder polimer dan temperatur sintering terhadap performa dan <i>fragibility</i> dengan bahan poliamida 6 dan tembaga sebagai bahan utama	- Semakin tinggi komposisi polimer semakin kecil nilai kekuatan, Modulus elastisitas, kecepatan batas dan energi kinetik sehingga <i>fragibility</i> semakin besar
	Pengaruh komposisi binder polimer dan temperatur sintering terhadap mikrostruktur dan sifat mekanik dengan bahan poliamida 6 dan tembaga sebagai bahan utama	- Semakin tinggi temperatur sintering semakin kecil <i>fragibility</i>
Hizkia A. Dewanto (2015)		- Semakin kecil komposisi <i>polimer binder</i> terjadi kenaikan sifat mekanik
		- Komposisi optimal <i>polymer binder</i> terletak pada komposisi 0,5 %wt dan temperatur sintering sebesar 250°C



*(halaman ini sengaja dikosongi)*

## **BAB III METODOLOGI**

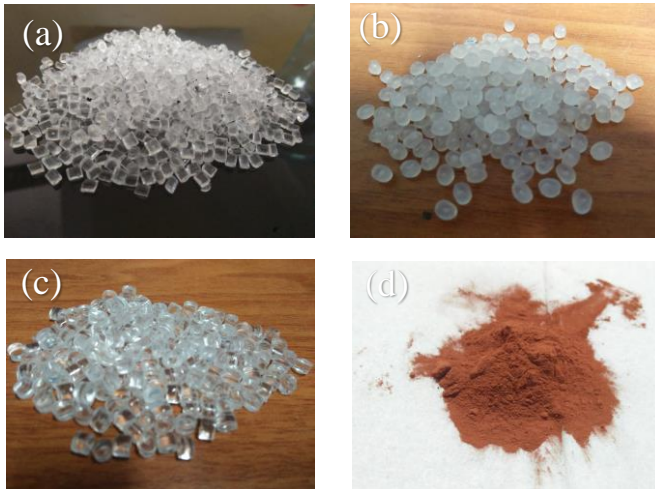
### **3.1 Bahan Penelitian**

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### **A. Polikarbonat (PC)**

Polikarbonat yang digunakan adalah polikarbonat dengan merk dagang Chimei Wonderlite PC dalam bentuk pelet yang kemudian di lebur dan berperan sebagai Matriks dengan spesifikasi sebagai berikut :

Densitas	: 1,2 g/cm <sup>3</sup>
Kekuatan Tarik	: 75 Mpa
Modulus Young	: 2,4 GPa
Temperatur Melting	: 147 °C
Ukuran Pellet	: ± 1-2 mm



**Gambar 3.1** *Raw Material* dari penelitian antara lain : (a) Polikarbonat (b) Polpropilena (c) polistirena (d) serbuk tembaga



### **B. Polipropilena (PP)**

Polipropilena yang digunakan adalah polipropilena dengan merk dagang Masplene dalam bentuk pelet yang kemudian di lebur dan berperan sebagai Matriks dengan spesifikasi sebagai berikut :

Densitas	: 0,9 g/cm <sup>3</sup>
Kekuatan Tarik	: 35,8 Mpa
Modulus Young	: 1,14 GPa
Temperatur Melting	: 120 °C
Ukuran Pellet	: ± 1-2 mm

### **C. Polistirena (PS)**

Polistirena yang digunakan adalah Polistirena dengan merk dagang Styrene dalam bentuk pelet yang kemudian di lebur dan berperan sebagai Matriks dengan spesifikasi sebagai berikut :

Densitas	: 0,9 g/cm <sup>3</sup>
Kekuatan Tarik	: 35,9 Mpa
Modulus Young	: 2,28 GPa
Temperatur Melting	: 240 °C
Ukuran Pellet	: ± 1-2 mm

### **D. Serbuk Cu**

Serbuk Cu proanalisis dengan kemurnian 99% produk merck didapatkan dari PT. Sumber Utama Kimia Murni yang berperan sebagai Filler dengan spesifikasi sebagai berikut:

Ar	: 63,55 g/mol
Densitas	: 8,96 g/cm <sup>3</sup>
Struktur Kristal	: FCC
Temperatur Melting	: 1084°C
Modulus Young	: 110 GPa
Ukuran serbuk	: < 63 µm





#### **E. Air**

Digunakan untuk pencucian alat-alat penelitian, untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang ada pada permukaan alat-alat penelitian.

#### **F. Aquades**

Aquades yang didapatkan dari CV. Sumber Ilmiah Persada berfungsi untuk pengujian densitas dari material.

#### **G. Tabung gas Butana (Elpiji)**

Tabung gas merk Winn gas ukuran 235 g yang digunakan sebagai bahan bakar kompor portable yang akan digunakan untuk melebur campuran polimer untuk dicetak dalam cetakan.

#### **H. Aluminium Foil**

Untuk melapisi permukaan cetakan pada proses pencetakan material komposit Cu/Polimer agar polimer tidak lengket pada permukaan cetakan

### **3.2 Alat Penelitian**

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### **A. Mesin Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)**

Mesin Scanning Electrone Microscope (SEM) yang digunakan adalah EVO MA10 dengan perbesaran 80-45.000 kali. SEM digunakan untuk melihat morfologi dan distribusi matriks dan filler pada material komposit di laboratorium Energi LPPM-ITS, seperti yang terlihat pada **Gambar 3.2**



**Gambar 3.2** Alat uji SEM

**B. Mesin uji *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)**

Mesin FTIR yang digunakan adalah *thermo scientific* dengan wavelength  $500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ . Digunakan untuk mengetahui rantai maupun gugus yang terdapat dalam material komposit yang menunjukkan keberadaan polikarbonat, polistirena maupun polipropilena dan perbedaan peak ketika penambahan unsur tembaga (Cu) dilakukan di laboratorium karakterisasi material, departemen teknik material FTI-ITS. seperti yang terlihat pada **gambar 3.3**



**Gambar 3.3** Gambar mesin FTIR departemen teknik material FTI-ITS

### C. Mesin Uji Kekerasan

Uji *vickers microhardness* menggunakan indenter berbentuk piramid. Bagian permukaan dari indenter yang berbentuk pyramid tersebut kemudian ditekan pada permukaan bahan atau material yang ingin di uji. Besarnya beban yang diberikan adalah sebesar 1 kg atau 10 kgf (kilogram force) dan beban ini ditekan pada permukaan bahan yang di uji selama 15 detik. Dilakukan di laboratorium metalurgi departemen teknik material FTI-ITS. seperti yang terlihat pada **gambar 3.4**



**Gambar 3.4** Mesin Uji *Microvickers*



#### **D. Mesin Uji Tekan**

Pengujian tekan dengan standar ASTM D638 dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan objek uji. Pengujian Tekan dilakukan di laboratorium pengujian bahan Universitas Airlangga jurusan farmasi kampus B. Menggunakan mesin Autograph AG-10TE dengan kapasitas *load* 100kN. seperti yang terlihat pada **gambar 3.5**



**Gambar 3.5** Mesin Uji tekan

#### **E. Neraca Digital**

Neraca digital merk Metler Toledo digunakan untuk menimbang massa polikarbonat, Cu serta material komposit serta digunakan dalam proses pengukuran densitas material komposit. Spesifikasi alat yaitu kapasitas maksimum 220g, ketelitian 0,0001 g, berat alat 4,6 kg, dimensi *weighing pan* Ø 90 mm, dan maksimum tinggi benda 237 mm.

#### **F. Jangka Sorong**

Untuk mengukur diameter dari spesimen uji tekan

#### **G. Hot Plate**

Digunakan untuk *manual stirring* serbuk tembaga dan pellet polimer yang telah di lelehkan di atas *Hot Plate* dengan temperatur diatas 150°C



---

**H. Kompor Lapangan (Portabel)**

Digunakan untuk proses pencetakan material komposit Cu/Polimer dengan parameter temperatur diatas 200°C diukur dengan menggunakan *Thermogun* yang diarahkan diatas cetakan

**I. Set benang jahit dan handler**

Untuk mengukur densitas dari spesimen hasil penelitian

**J. Spatula**

Untuk melakukan penuangan serbuk tembaga, pengadukan campuran, dan *manual stirring* di atas magnetic stirer dan untuk menempatkan material komposit hasil pencampuran di dalam cetakan.

**K. Mangkuk Aluminium**

Sebagai tempat penimbangan spesimen dan juga tempat untuk *manual stirring* di atas *hot plate* pada *magnetic stirer*

**L. Cetakan Uji tekan dan pelat logam**

Cetakan untuk pembuatan spesimen uji tekan sesuai dengan dimensi ASTM D 695-92 dengan mencetak diatas kompor yang telah diberi pelat atas nya lalu dipanaskan.

**M. Thermogun**

Untuk mengukur temperatur aktual pada saat proses pencampuran maupun pada saat proses pencetakan agar parameter percobaan bisa terukur.

**N. Grinda Tangan**

Untuk *finishing* dan *grinding* permukaan spesimen uji agar spesimen memenuhi dimensi yang telah ditentukan untuk selanjutnya dilakukan pengujian.

---

---



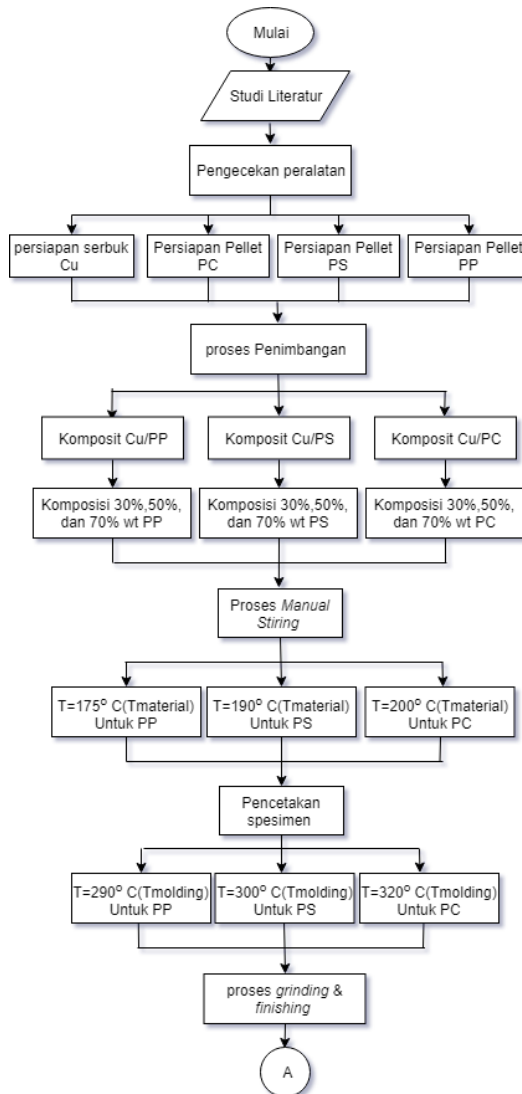
---

**O. APD (Alat Pelindung Diri)**

APD yang digunakan adalah sarung tangan tahan panas untuk mencetak polimer, sarung tangan lateks untuk *stiring* polimer, dan jas lab yang digunakan selama proses pembuatan dan pencetakan material



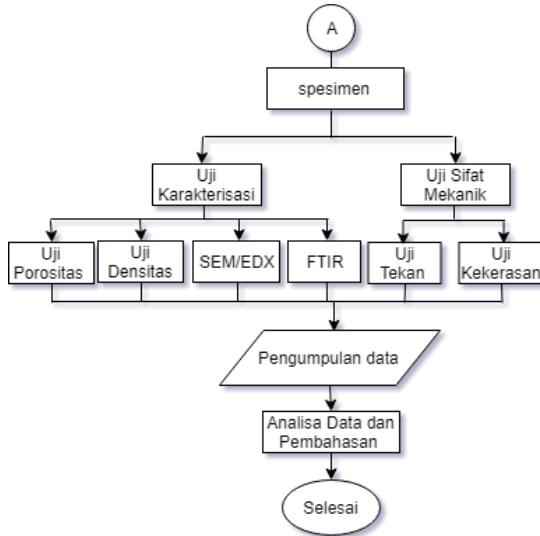
### 3.3 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.6** Diagram Alir Penelitian I



Diagram Alir pada **Gambar 3.6** menjelaskan mengenai proses pembuatan hingga menjadi spesiemen. Sedangkan, pada **Gambar 3.7** menjelaskan mengenai pengujian-pengujian yang dilakukan hingga di dapatkan hasil dari penelitian.



**Gambar 3.7** Diagram Alir Penelitian II

### 3.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahap penelitian yang dilakukan sehingga di dapatkan hasil komposit untuk material kandidat peluru *frangible* antara lain :

#### 3.4.1 Preparasi Serbuk Tembaga (Cu) dan Polimer

Beberapa tahapan preparasi yang dilakukan untuk menyiapkan serbuk tembaga dan pellet polimer :

1. Mempersiapkan dua wadah untuk menimbang serbuk tembaga dan pellet polimer





2. Massa total yang dipersiapkan dalam setiap batch pencampuran adalah 10 gram. Untuk setiap variasi jenis material dan komposisi dilakukan 4 batch.
3. Menimbang serbuk tembaga sebanyak 3 gram, 5 gram dan 7 gram dalam sebuah wadah aluminium masing-masing gram 4 wadah untuk dicampur. Selanjutnya dilakukan dengan menimbang pelet polikarbonat (PC) dan dilakukan penimbangan dan penempatan yang sama seperti serbuk tembaga.
4. Lakukan hal yang sama untuk variasi polistirena (PS) maupun polipropilena (PP)
5. Setelah ditempatkan masing masing dengan berat yang berbeda-beda setelah itu serbuk tembaga dan pelet polimer dituang pada satu tempat. Berlaku untuk semua polimer yakni polikarbonat (PC), polistirena (PS), dan polipropilena (PP) dengan komposisi yang diteliti pada penelitian yakni 70 % wt Cu-30 wt% polimer, 50 % wt Cu-50 wt% polimer, dan 30 % wt Cu-70 wt% polimer.
6. Sebelum dilakukan *manual stirring* pada *magnetic stirrer* dilakukan pencampuran manual pada wadah dengan mengaduk menggunakan spatula hingga serbuk Cu tercampur merata dengan pelet polimer.

### **3.4.2 Proses Pencampuran Serbuk Tembaga (Cu) dan Polimer sehingga menjadi komposit Cu/Polimer**

Beberapa tahapan yang dilakukan pada proses pencampuran untuk mendapatkan komposit Cu/Polimer antara lain adalah

1. Menghidupkan *magnetic stirrer* dan menentukan temperatur yang dibutuhkan untuk melelehkan polimer yakni untuk Polistirena (PS) 350°C, Polipropilena (PP) 300°C, dan polikarbonat (PC) 400°C.
2. Menyiapkan wadah aluminium diatas *magnetic stirrer* sebagai tempat untuk proses pencampuran



3. Menuangkan bahan yang telah dicampur yakni serbuk tembaga dan pellet polimer ke dalam wadah aluminium untuk proses pencampuran
4. Menunggu temperatur *magnetic stirer* hingga mencapai temperatur yang sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan
5. Mengecek material dalam wadah aluminium apakah sudah melunak atau belum
6. Apabila sudah melunak material diaduk merata di dalam wadah hingga tercampur secara merata sehingga terbentuk material komposit Cu/Polimer
7. Setelah itu material komposit Cu/Polimer dikeluarkan dari wadah dan dibentuk panjang-panjang agar mudah dalam mencetak spesimen

### **3.4.3 Proses Pencetakan spesimen dan *finishing* Material komposit Cu/Polimer**

Beberapa tahapan yang dilakukan dalam proses pencetakan spesimen uji tekan dan proses *finishing* antara lain adalah :

1. Memasang set kompor portable dipasangkan dengan bahan bakar gas butana dan menghidupkan api dalam kompor.
2. Selanjutnya melapisi seluruh permukaan cetakan dengan aluminium foil
3. Menaruh pelat baja dan cetakan uji tekan sesuai dengan ASTM D 695-92 diatas kompor yang menyala
4. Ukur temperatur cetakan dengan menggunakan *Thermogun* sesuai dengan parameter temperatur yang telah ditetapkan yakni untuk Polistirena (PS) 300°C, Polipropilena (PP) 290°C, dan polikarbonat (PC) 320°C.
5. Menaruh material komposit Cu/Polimer di dalam cetakan hingga material melunak dan memenuhi seluruh cetakan



6. Apabila telah memenuhi, cetakan dipindahkan dari atas api hingga temperatur menurun dan spesimen siap di keluarkan dari cetakan.
7. Spesimen tekan yang telah jadi dilakukan *finishing* dan *grinding* pada permukaan nya menggunakan grinda tangan agar permukaan rata dan siap diuji

Berdasarkan tahapan penelitian tersebut dibuat gambar skema percobaan yang telah dilakukan ditunjukkan pada **Gambar 3.8**



**Gambar 3.8** proses pembuatan material antara lain : (a) proses penimbangan *raw material* (b) proses pencampuran serbuk Cu dan pelet polimer (c) proses *mixing* menggunakan *stirrer* (d) produk komposit sebelum dicetak (e) proses pencetakan (f) proses *finishing* (g) hasil spesimen komposit



### 3.4.4 Pengujian

#### 1. FTIR

Melakukan collect background sebelum melakukan proses manufaktur peluru dan menyiapkan sampel pellet PC, PP, dan PS setelah itu diuji FTIR sebelum dilakukan pembentukan spesimen. Setelah dilakukan pembentukan spesimen, menyiapkan spesimen dari masing-masing komposisi dengan dimensi 10 x 3 x 2 mm untuk material komposit hasil proses manufaktur. Melakukan *collect sample* serta mengamati grafik yang dihasilkan pada komputer dan melakukan langkah tersebut untuk sampel lain.

#### 2. SEM/EDX

Sebelum dilakukan proses pembentukan spesimen pada proses manufaktur peluru Menyiapkan serbuk dengan ukuran normal pada Cu setelah itu diuji SEM untuk dilihat morfologi serbuk Cu. menyiapkan spesimen dari masing-masing variabel dengan dimensi 13 x 3 x 5 mm untuk material komposit hasil proses manufaktur lalu meletakkan spesimen pada *holder*. memasukkan spesimen beserta *holder* kedalam mesin serta mengamati gambar pada komputer dengan perbesaran tertentu melalui monitor. melakukan untuk sampel lain.

#### 3. Pengukuran Densitas

pengukuran densitas dengan metode eksperimental dilakukan dengan mengikuti standar ASTM D 792-08. Metode ini merupakan perhitungan densitas dengan menentukan densitas dengan menggunakan perbedaan massa komposit pada saat di udara dan di dalam air untuk menentukan specific gravity yang kemudian dibandingkan dengan densitas air. Rumus mencari specific gravity pada material dituliskan dalam persamaan

$$\text{Specific gravity} = \frac{\text{Mass in air (g)}}{\text{mass in water (g)}} \times \text{water density} \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) (3.1)$$

#### 4. Pengukuran Porositas

pengukuran porositas dengan metode eksperimental dilakukan dengan membagi hasil pengukuran densitas secara



teoritis menggunakan rumus *role of mixture* dibagi dengan hasil pengukuran uji densitas spesimen dan akan didapatkan persen porositas yang ada dalam material tersebut dengan persamaan

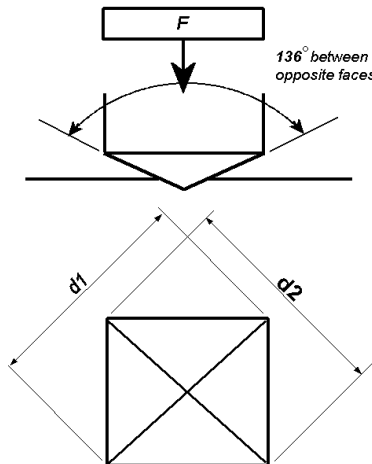
$$P = \frac{D_t - D_p}{D_t} \times 100 \% \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

- P = Porositas (%)
- $D_t$  = Densitas Teori ( $\text{g/cm}^3$ )
- $D_p$  = Densitas Teori ( $\text{g/cm}^3$ )

## 5. Uji Kekerasan

Tes Vickers *Micro Hardness* merupakan metode yang digunakan untuk mengukur kekerasan dari suatu bahan atau material. Pada prinsipnya, pengukuran ini dilakukan untuk mengobservasi kemampuan suatu bahan atau material untuk menahan deformasi plastis dari keadaan semula bahan tersebut. Tes Vickers ini lebih mudah dilakukan dibanding tes kekerasan lainnya karena kalkulasi yang dibutuhkan pada tes ini tidak bergantung terhadap ukuran indenter, dan indenter ini dapat digunakan untuk semua bahan atau material. Satuan dari kekerasan yang diberikan Vickers Pyramid Number (HV).



**Gambar 3.9** bentuk indenter yang digunakan pada pengukuran Vickers Hardness dan bentuk lekukan yang ditinggalkan setelah beban diangkat (ASTM E92-17)

Sebuah lekukan berbentuk seperti **Gambar 3.9**, terlihat pada mikroskop, dan diagonal rata-rata ( $d_1$  dan  $d_2$  pada gambar 3.10) kemudian dihitung untuk mencari bilangan HV. Bilangan HV merupakan rasio  $F/A$  dimana  $F$  merupakan gaya yang diberikan oleh indenter terhadap permukaan bahan uji (satunya dalam kilogram force/kgf) dan  $A$  merupakan luas area permukaan yang meleku akibat ditekan oleh *indenter* (satunya  $\text{mm}^2$ ).  $A$  dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah dengan standard pengujian ASTM E92-17

$$A = \frac{d^2}{2 \sin \left( \frac{136}{2} \right)} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$A = \frac{d^2}{1,8544} \dots\dots\dots (3.3)$$

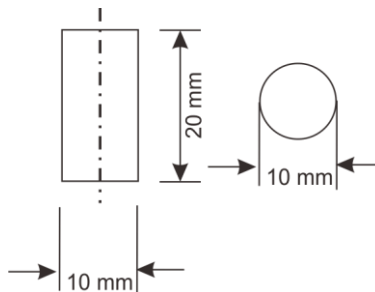


Dimana  $d$  merupakan panjang rata-rata dari bagian diagonal pada lekukan yang terbentuk. Maka bilangan HV dapat dihitung menggunakan persamaan yaitu.

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{1,8544 F}{d^2} \dots\dots\dots(3.4)$$

### 1. Uji Tekan

Menyiapkan spesimen uji untuk masing-masing variasi komposisi sesuai dengan ASTM D 695-92 Seperti pada **Gambar 3.10**



**Gambar 3.10** Spesimen Uji Tekan ASTM D695-92

Melakukan Pengujian tekan pada setiap spesimen, dengan laju deformasi 1.3 mm/menit. Dilanjutkan menganalisis hasil beban yang diberikan dan elongasi yang ditunjukkan pada mesin hasil pengujian guna menghitung nilai kekuatan tekan serta modulus elastisitas. Modulus elastisitas dihitung dengan persamaan 2.3 sedang kekuatan tekan diperoleh dari persamaan 2.1 dan beban didapat dari yang ditunjukkan pada mesin uji tekan.



*(halaman ini sengaja dikosongi)*



## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

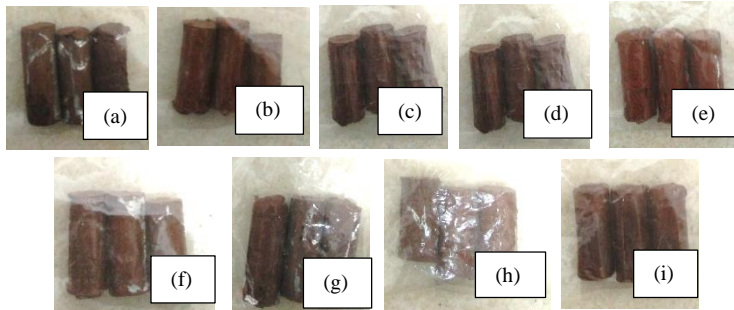
#### **4.1 Analisa Proses Pembuatan**

Proses pembuatan komposit Cu/Polimer dilakukan dengan menggunakan metode *casting*. Komposit dibentuk menjadi spesimen dengan 1x2 cm. Cetakan dari spesimen dibuat dengan material AISI 1045 berbentuk balok dengan lubang di tengahnya. Serbuk Cu bertindak sebagai penguat dan polimer bertindak sebagai matriks. Secara fisik serbuk tembaga berwarna kemerahan, pelet polistirena dan polikarbonat berwarna bening sedangkan polipropilena berwarna putih dan cenderung berbentuk bulat selanjutnya dilakukan penimbangan dan pencampuran material dengan beberapa variasi yakni 30%Cu-70%PC, 50%Cu-50%PC, 70%Cu-30%PC, 30%Cu-70%PP, 50%Cu-50%PP, 70%Cu-30%PP, 30%Cu-70%PS, 50%Cu-50%PS dan 70%Cu-30%PS. Dengan setiap campuran mempunyai massa total 10 gram. Dan setiap variasi dilakukan 4 batch.

Proses selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan *manual stirring* untuk pencampuran serbuk Cu dan pellet polimer agar bisa menjadi material komposit. Dengan parameter temperatur yang berbeda setiap polimer yakni 1. untuk Polistirena (PS) 175°C, Polipropilena (PP) 190°C, dan polikarbonat (PC) 200°C. Hingga kedua material tercampur dan sudah homogen. Setelah itu dibentuk bulatan yang panjang untuk dipersiapkan pada proses selanjutnya yaitu untuk proses *Casting*. Setelah melalui tahap *mixing*, maka proses selanjutnya adalah proses *casting* yakni proses pencetakan material komposit untuk dijadikan spesimen yang nantinya akan diuji. Proses dimulai dengan memanaskan cetakan diatas pelat baja diatas kompor dan ditunggu hingga temperatur cetakan memenuhi parameter yang sesuai untuk setiap material. Beberapa parameter temperatur dari setiap material antara lain adalah Polistirena (PS) 300°C, Polipropilena (PP) 290°C, dan polikarbonat (PC) 320°C dengan menggunakan *thermogun*. Setelah memenuhi parameter, material campuran dari setiap variasi

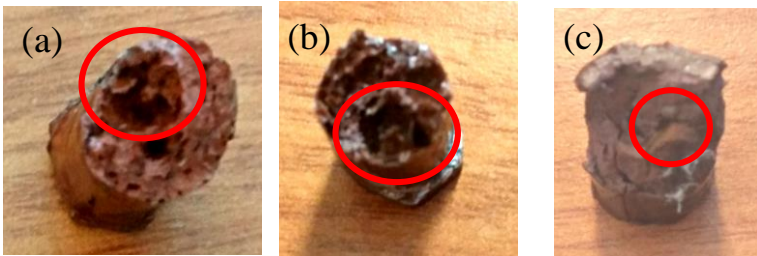


di taruh dalam cetakan lalu material ditunggu meleleh hingga memenuhi cetakan dan material terbentuk sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Setelah itu material didinginkan lalu material dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik antara lain adalah uji FTIR, SEM, EDX, Densitas, uji tekan dan kekerasan seperti pada **Gambar 4.1**.



**Gambar 4.1** Produk hasil manufaktur berturut turut (a) 30%Cu-70%PC, (b).50%Cu-50%PC, (c). 70%Cu-30%PC, (d). 30%Cu-70%PP,(e). 50%Cu-50%PP, (f). 70%Cu-30%PP, (g). 30%Cu-70%PS, (h). 50%Cu-50%PS dan (i). 70%Cu-30%PS.

Dari produk yang dihasilkan pada permukaan terlihat bagus dan terlihat homogen. Sehingga terlihat bahwa serbuk Cu tercampur dengan sempurna dengan polimer namun ketika setelah pengujian diketahui bahwa bagian dalam material terjadi banyak porositas seperti yang terlihat pada **Gambar 4.2**



**Gambar 4.2** Porositas yang terjadi pada sampel (a). Komposit Cu/PP (b) komposit Cu/PC (c) komposit Cu/PS

porositas yang tinggi dan untuk komposit Cu/PP memiliki porositas namun tidak sebesar Cu/PC. Hal tersebut dikarenakan proses manufaktur dan beberapa parameter yang nanti akan di bahas pada sub bab selanjutnya.

#### 4.1.1 Analisa Hasil Uji Tekan

Dari hasil pengujian tekan yang dilakukan didapatkan beberapa nilai yang diperoleh pada **Tabel 4.1**

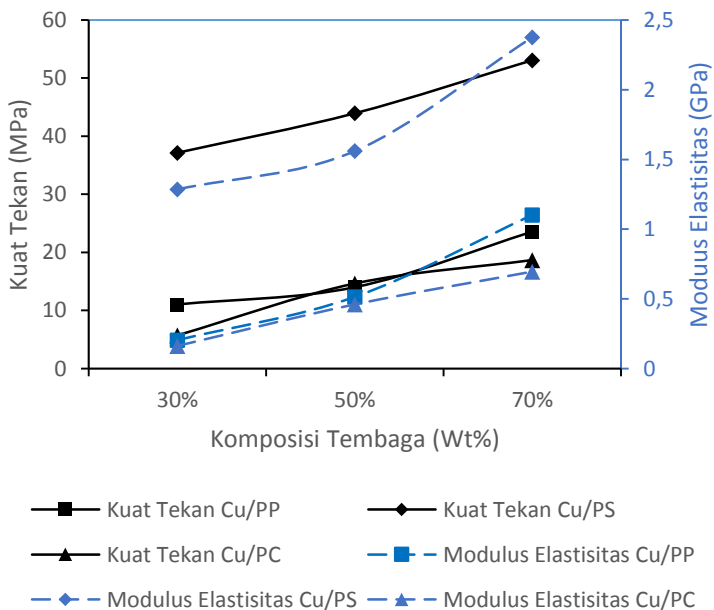
**Tabel 4.1** Data Hasil Uji Tekan

No	Jenis Polimer	Komposisi Cu	Kuat Tekan (Mpa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (GPa)
1	PP	30%Cu-70%PP	11,04	54,25	0,204
		50%Cu-50%PP	14,01	27,25	0,514
		70%Cu-30%PP	23,57	21,38	1,102
2	PS	30%Cu-70%PS	37,15	28,90	1,286
		50%Cu-50%PS	43,95	28,17	1,560
		70%Cu-30%PS	53,08	22,33	2,377



3	PC	30%Cu-70%PC	5,73	35,13	0,163
		50%Cu-50%PC	14,65	31,80	0,461
		70%Cu-30%PC	18,68	26,85	0,696

Nilai tersebut didapatkan dari proses penghitungan beban dan perubahan panjang yang didapatkan dari mesin lalu dikalkulasi menggunakan perhitungan pada persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3. Dari data tersebut dibuat grafik hubungan antara kekuatan tekan dengan modulus elastisitas pada spesimen yang dilakukan pengujian berdasarkan isi **Tabel 4.1**.



**Gambar 4.3** Grafik hubungan antara kuat tekan dan modulus elastisitas tiap jenis polimer penyusun dengan berbagai komposisi Cu pada komposit Cu/Polimer



Pada grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3** merupakan hubungan antara kekuatan tekan dengan modulus elastisitas material Komposit Cu/Polimer. Dari grafik menjelaskan bahwa semakin tinggi komposisi tembaga pada material maka sifat kuat tekan dan modulus elastisitas dari material akan semakin tinggi. Pada data yang ada pada **Gambar 4.3** menunjukkan bahwa polimer polistirena memiliki nilai paling tinggi untuk kuat tekan maupun modulus elastisitas.

Dari grafik kita ketahui bahwa untuk material komposit Cu/PP nilai terendah dari kekuatan tekan sebesar 11,04 Mpa pada komposisi 30% Cu dan nilai tertinggi sebesar 23,57 pada komposisi 70% Cu sedangkan untuk modulus elastisitas sendiri nilai tertinggi didapat pada 1,102 GPa pada komposisi 70% Cu dan nilai terendah pada 0,204 GPa pada komposisi 30% Cu. Sedangkan untuk material komposit Cu/PS nilai terendah dari kekuatan tekan sebesar 37,15 Mpa pada komposisi 30% Cu dan nilai tertinggi sebesar 53,08 pada komposisi 70% Cu sedangkan untuk modulus elastisitas sendiri nilai tertinggi didapat pada 2,377 GPa pada komposisi 70% Cu dan nilai terendah pada 1,286 GPa pada komposisi 30% Cu. Dan yang terakhir untuk material komposit Cu/PC nilai terendah dari kekuatan tekan sebesar 5,73 Mpa komposisi 30% Cu dan nilai tertinggi sebesar 18,68 pada komposisi 70% Cu sedangkan untuk modulus elastisitas sendiri nilai tertinggi didapat pada 0,696 GPa pada komposisi 70% Cu dan nilai terendah pada 0,163 GPa pada komposisi 30% Cu. Dari grafik yang telah dibuat terjadi kenaikan *trend* sehingga bisa disimpulkan semakin tinggi komposisi tembaga maka nilai modulus elastisitas dan kekuatan tekan semakin tinggi.

Dari grafik yang telah dibuat urutan material dengan kekuatan tekan dan modulus elastisitas tertinggi antara lain adalah polistirena, polipropilena dan yang terakhir polikarbonat. Sehingga material dengan kekuatan tekan dan modulus elastisitas paling baik dalam grafik tersebut polistirena. Berdasarkan Kruachatturat, dkk (2009) nilai kekuatan tekan yang harus dipenuhi sebagai kandidat



peluru frangible adalah 31-310 MPa, dari sini dapat kita simpulkan material yang memenuhi persyaratan tersebut adalah polistirena dengan nilai terendah dari kekuatan tekan sebesar 37,15 Mpa pada komposisi 30% Cu dan nilai tertinggi sebesar 53,08 pada komposisi 70% Cu. Sedangkan untuk kandidat jenis polimer lain tidak memenuhi. Berdasarkan data yang didapat dari Callister (2014) kekuatan mekanik yang dihasilkan dari polikarbonat bisa lebih tinggi dibandingkan dengan polipropilena dan polistirena hal itu disebabkan karena terjadinya porositas. salah satunya akibat proses manufaktur yang kurang sempurna dan akan dijekaskan pada sub bab selanjutnya mengenai densitas dan porositas. Selanjutnya hal yang bisa kita simpulkan adalah semakin tinggi komposisi tembaga maka sifat mekanik akan semakin tinggi sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Park, 2016) mengenai komposit tembaga polimer. Yakni seiring kenaikan komposisi tembaga pada polimer maka kekuatan komposit akan semakin tinggi.

#### 4.1.2 Analisa Hasil Uji Kekerasan

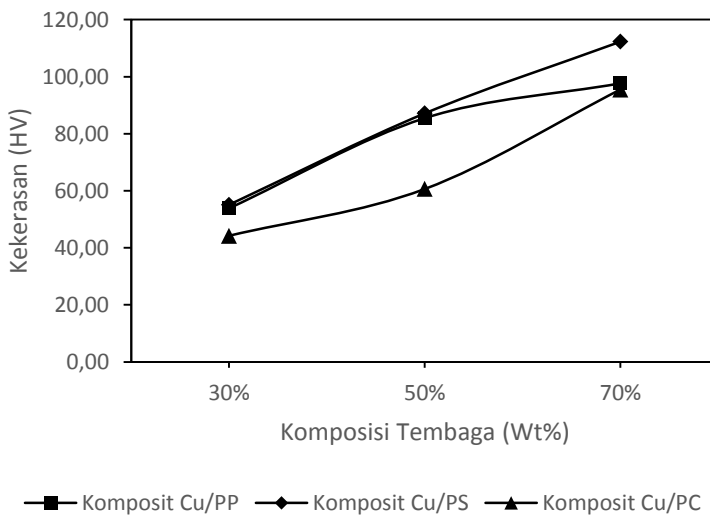
Dari pengujian kekerasan yang dilakukan dengan metode *vickers microhardness* yang dilakukan dengan menggunakan 3 kali indentansi di setiap variabel setelah itu hasilnya dikalkulasi dan dianalisis. Dari hasil pengujian didapat **Tabel 4.2**

**Tabel 4.2** Tabel Hasil Pengujian kekerasan

No	Jenis Polimer	Komposisi Cu	Kekerasan
1	PP	30% Cu-70% PP	53,87
		50% Cu-50% PP	85,47
		70% Cu-30% PP	97,67
2	PS	30% Cu-70% PS	55,10
		50% Cu-50% PS	87,13
		70% Cu-30% PS	112,27
3	PC	30% Cu-70% PC	44,23
		50% Cu-50% PC	60,63
		70% Cu-30% PC	95,50



Nilai yang di dapat tersebut di kalkulasi otomatis dengan mesin berdasarkan indentansi yang dibuat, setelah itu diketahui diagonal-diagonal yang terbentuk pada titik indentansi lalu dilakukan kalkulasi menggunakan persamaan 3.4. setelah nilai yang di dapat maka dibuat gambar grafik yang ditampilkan pada **Gambar 4.2**



**Gambar 4.4** Grafik hubungan antara nilai kekerasan dan komposisi Cu dari setiap jenis polimer penyusun komposit

Dari grafik pada **Gambar 4.4** menunjukkan terjadinya kenaikan nilai kekerasan pada material komposit Cu/Polimer seiring dengan penambahan komposisi tembaga. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa komposit Cu/Polistirena memiliki nilai kekerasan paling tinggi pada komposisi 70% tembaga.

Dari grafik kita ketahui untuk jenis polimer penyusun komposit terlihat nilai tertinggi kekerasan terdapat pada polistirena diikuti polipropilena dan yang terakhir adalah polikarbonat.



Dari grafik yang dibuat dapat disimpulkan bahwa material komposit dengan material polimer penyusun. Yang memiliki nilai kekerasan tertinggi adalah polimer penyusun dari polistirena diikuti polipropilena dan yang terakhir polikarbonat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh kruachaturrat dkk (2012) nilai kekerasan yang dibutuhkan oleh peluru *frangible* adalah 54-119 HV sehingga dapat disimpulkan untuk nilai kekerasan semua memenuhi syarat kecuali komposit Cu/PC dengan komposisi 30% Cu yang tidak memenuhi syarat kekerasan dengan nilai dibawah 54 HV yakni sekitar 44,23 HV. Sedangkan untuk penelitian sifat kekerasan sendiri dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi komposisi tembaga pada material komposit maka nilai kekeraan akan semakin tinggi sesuai dengan penelitian yg dilakukan oleh Bhattacharya (1978) bahwa kenaikan komposisi tembaga pada komposit meningkatkan kekerasan vickers dari komposit tersebut.

#### 4.1.3 Analisa Hasil Uji Densitas dan Porositas

Dari pengujian densitas yang dilakukan berdasarkan pada ASTM D792-8 yang dihitung dengan persamaan 3.1 dengan menimbang spesimen uji dengan timbangan digital ketika di udara bebas dan ketika melayang di dalam air sehingga didapat nilai densitas. Sedangkan untuk nilai porositas dihitung dengan persamaan 3.2 dilakukan perbandingan dengan densitas dalam teori menggunakan *rule of mixture*. Sehingga didapat nilai densitas dan porositas yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.3**

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Densitas dan Porositas

No	Jenis Polimer	Komposisi Cu	Nilai Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Nilai Porositas (%)
1	PP	30%Cu-70%PP	1,07	8,90
		50%Cu-50%PP	1,43	8,32
		70%Cu-30%PP	2,09	10,35

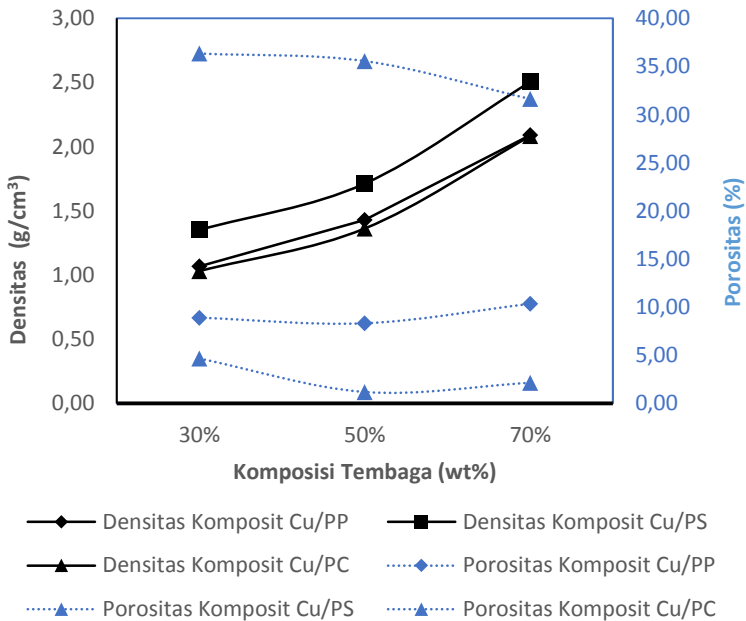




2	PS	30%Cu- 70%PS	1,35	4,66
		50%Cu- 50%PS	1,71	1,19
		70%Cu- 30%PS	2,51	2,15
3	PC	30%Cu- 70%PC	1,03	36,36
		50%Cu- 50%PC	1,36	35,57
		70%Cu- 30%PC	2,08	31,65

Dari nilai yang didapat dari perhitungan dibuat grafik hubungan densitas dan porositas terhadap komposisi tembaga dan juga dibuat hubungan juga antara polimer penyusun komposisi tembaga dan nilai porositas maupun densitas. Sehingga dari tabel yang telah dibuat dijadikan grafik yang ada pada **Gambar 4.5**.

Dari grafik yang telah dibuat menjelaskan bahwa semakin tinggi komposisi Cu pada komposit Cu/Polimer maka akan meningkatkan nilai densitas. Hal itu ditunjukkan pada grafik yang ada pada **Gambar 4.5**. dari grafik menunjukkan kenaikan akibat kenaikan kadar tembaga. Hal itu pun berlaku untuk setiap polimer penyusun komposit yakni polipropilena, polistirena dan polikarbonat. Sedangkan untuk sifat porositas terjadi penurunan dan kenaikan grafik nilai porositas pada setiap komposisi. Hal tersebut berlaku juga pada setiap material penyusun komposit Cu/Polimer. Yakni polipropilena, polistirena dan polikarbonat. Sehingga dimungkinkan bahwa komposisi tembaga dan beberapa faktor lain berpengaruh terhadap nilai porositas yang terjadi pada material komposit. Dari grafik tersebut terlihat polistirena memiliki nilai densitas paling tinggi yakni sebesar 2,51 pada komposisi tembaga 70% dan untuk porositas tertinggi adalah polikarbonat sebesar 36,36% pada komposisi 30% tembaga.



**Gambar 4.5** Grafik Hasil Pengujian Densitas dan porositas

Dari tabel dan grafik yang telah dibuat, hubungan antara nilai densitas dan komposisi terjadi tren kenaikan akibat bertambahnya nilai komposisi dari Cu sehingga dapat disimpulkan semakin tinggi komposisi tembaga pada material penyusun komposit Cu/Polimer maka nilai densitas akan semakin tinggi. sedangkan untuk porositas sendiri terjadi kenaikan dan penurunan grafik sehingga belum bisa disimpulkan bahwa faktor komposisi mempengaruhi nilai porositas.

Untuk nilai densitas berturut turut material polimer penyusun komposit yang memiliki densitas tertinggi antara lain adalah Polistirena, polipropilena dan yang terakhir adalah polikarbonat. Sedangkan untuk porositas sendiri diurutkan dari



nilai porositas tertinggi dari material polimer penyusun komposit yakni polikarbonat, polipropilena dan yang terakhir polistirena. Tingginya nilai densitas dipengaruhi oleh nilai porositas. Semakin tinggi nilai porositas maka nilai densitas akan semakin rendah. Dan hal tersebut bukan hanya mempengaruhi nilai densitas juga tapi juga mempengaruhi hampir secara keseluruhan sifat mekanik yang dimiliki material. Diketahui bahwa nilai kekerasan, kekuatan tekan dan modulus elastisitas dari material penyusun komposit Cu/PC yakni polikarbonat paling rendah. Hal tersebut berbanding terbalik dengan data yang diberikan Callister (2014) bahwa nilai densitas, kekerasan, nilai kekuatan tekan dan nilai modulus elastisitas dari polikarbonat lebih tinggi dibanding dengan polistirena dan polipropilena. Sehingga bisa disimpulkan bahwa tingginya porositas mempengaruhi sifat mekanik dari material komposit. Selain itu hal lain yang bisa dibuktikan yakni nilai sifat mekanik dari material polistirena menempati nilai tertinggi dari densitas, kekerasan, kekuatan dan modulus elastisitas dengan dibuktikan bahwa nilai terendah porositas material adalah komposit Cu/PS dengan nilai porositas tertinggi dari PS 4,66 % jauh dibandingkan dengan porositas yang terjadi pada komposit Cu/PC dengan nilai terendahnya yaitu 31,56 %. Hal tersebut sesuai dengan yang dikemukakan Ferlund (2016) bahwa salah satu penyebab kegagalan hasil fabrikasi dan sifat material komposit yang tidak mencapai spesifikasi yang diinginkan adalah porositas.

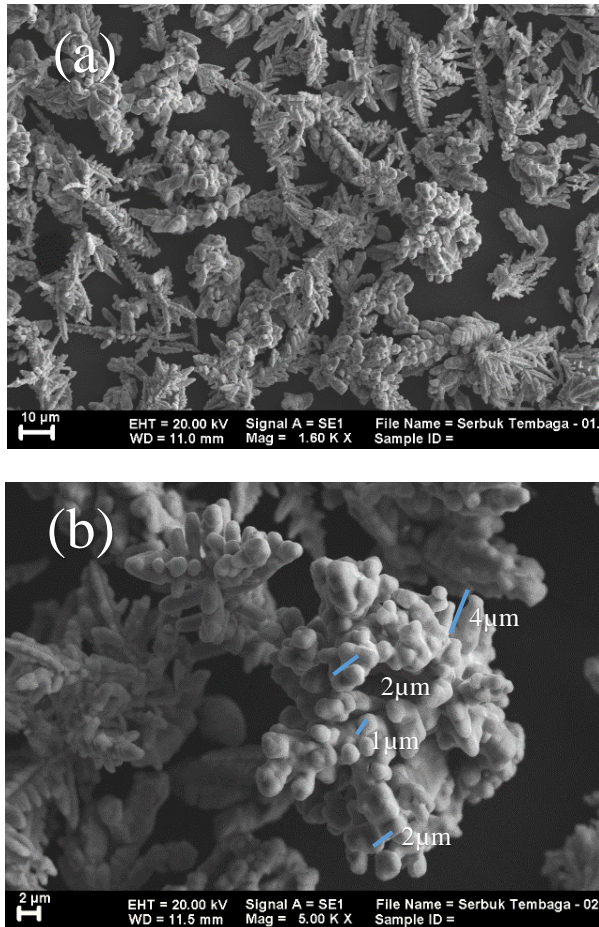
Berdasarkan spesifikasi peluru *frangible* yang di kemukakan oleh Hansen (2008) bahwa nilai terendah densitas adalah  $1,75 \text{ g/cm}^3$  sehingga dari sini tidak semua material penyusun dan komposisi tembaga lolos spesifikasi. Rata-rata komposisi tembaga yang lolos yakni pada 70% Cu dengan semua jenis material material penyusun komposit yakni pada variasi 70%Cu-30%PP, 70%Cu-30%PS, dan 70%Cu-30%PC. Seperti yang dijelaskan pada paragraf sebelumnya hal itu disebabkan karena porositas. Porositas terjadi karena kurangnya kontrol yang dilakukan selama proses manufaktur dari komposit. Dikarenakan ketika proses manufaktur Cu/PC ketika dicetak cenderung



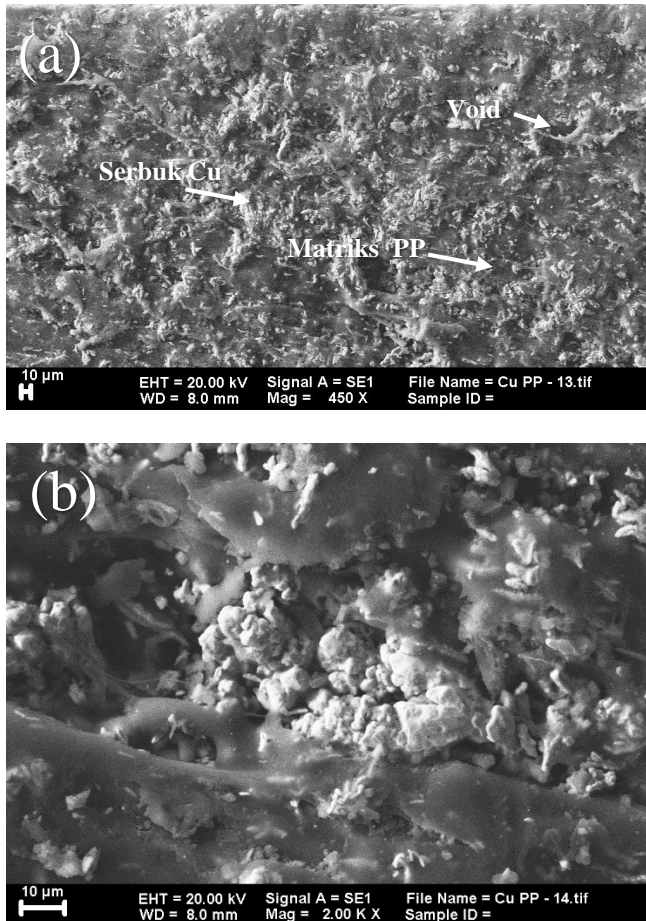
menempel pada dinding dibandingkan daya lekat terhadap materialnya sendiri. Ketika proses pencampuran maupun ketika proses casting menjadi produk. Dikarenakan dalam manufaktur komposit semua parameter harus diperhitungkan dengan akurat agar mencapai spesifikasi yang diinginkan. Salah satunya kurangnya kontrol ketika pencetakan, karena temperatur yang terlalu tinggi maupun temperatur yang terlalu rendah, lalu berikutnya adalah kurang meratanya persebaran temperatur pada cetakan sehingga panas yang diterima oleh material komposit kurang merata dan juga sifat salah satu material yang susah untuk dikendalikan. Sehingga menimbulkan udara yang terperangkap dan terjadi nya gelembung udara di dalam spesimen akibat space kosong yang ditimbulkan karena memuainya material komposit akibat pemanasan temperatur tinggi. seperti yang dikemukakan ferlund (2016) bahwa penyebab kegagalan material komposit tidak mencapai spesifikasi adalah pengaruh parameter proses yang tidak terukur selain itu timbulnya porositas yang berasal dari off gas maupun space kosong yang terjadi selama proses manufaktur.

#### 4.1.4 Analisa Hasil Uji Morfologi SEM/EDX

Dari pengggugjian digunakan 4 sampel sebagai bahan pengujian morfologi untuk mengetahui struktur mikro dari material dan perbandingannya dengan yang lain juga mengetahui pengaruhnya terhadap sifat material seperti apa. Pada **Gambar 4.6-gambar 4.8** akan ditunjukkan hasil pengujian SEM dan uji komposisi EDX yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4**

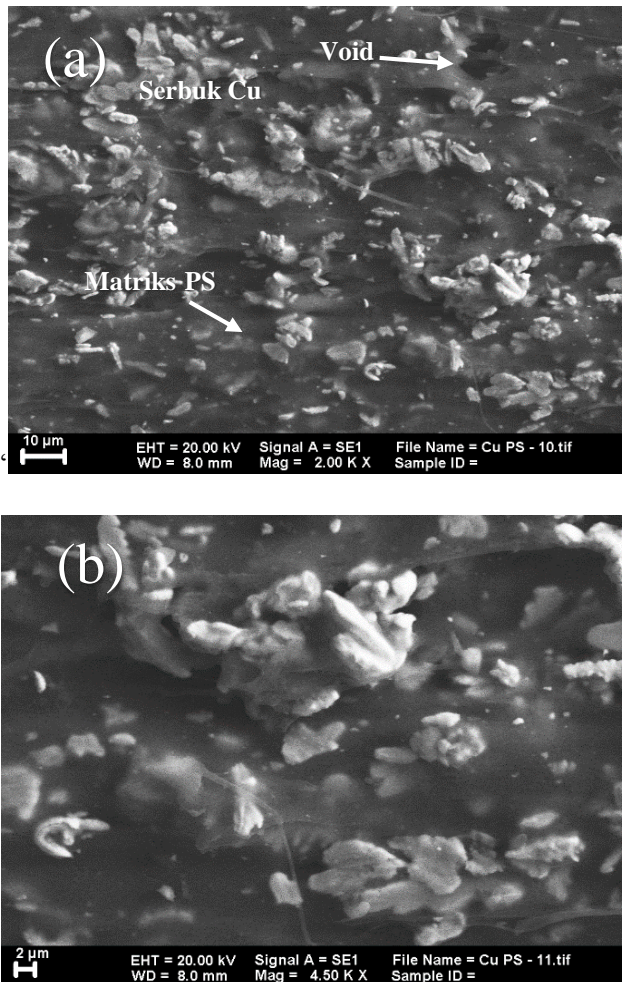


**Gambar 4.6** Gambar mikrostruktur dari Serbuk Cu yang digunakan sebagai filler dengan perbesaran (a) 1600x dan (b) 5000x

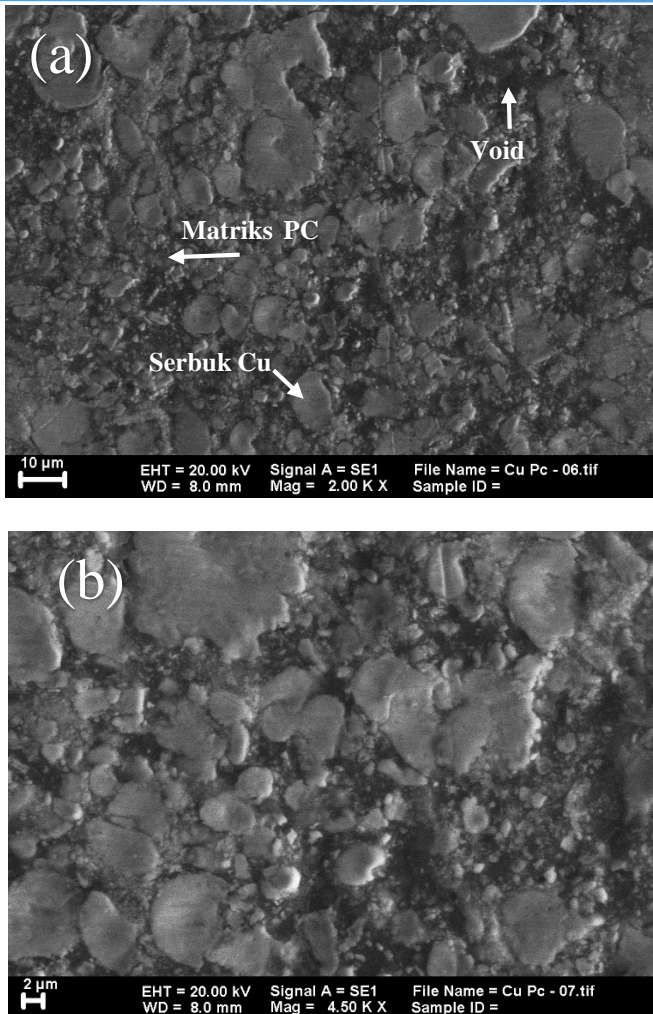


**Gambar 4.7** Gambar mikrostruktur material komposit Cu/PP dengan perbesaran (a) 450 x dan (b) 2000 x





**Gambar 4.8** Gambar mikrostruktur dan hasil EDX material komposit Cu/PS dengan perbesaran (a) 2000 x dan (b) 4500 x



**Gambar 4.9** Gambar mikrostruktur dan hasil EDX material komposit Cu/PC dengan perbesaran (a) 2000 x dan (b) 4500 x





**Tabel 4.4** Hasil Uji EDX Serbuk Cu, Komposit Cu/PP, Komposit Cu/PS, dan Komposit Cu/PC

Serbuk Cu						
El	AN	Series	Unn.C (Wt %)	Norm.C (Wt %)	Atom.C (Wt %)	Norm.C (Wt %)
Cu	29	K-Series	116,97	98,98	96,06	3.2
O	8	K-Series	1,21	1,02	3,94	0.3
		Total	110,17	100	100	
Komposit Cu/PP						
El	AN	Series	Unn.C (Wt %)	Norm.C (Wt %)	Atom.C (Wt %)	Norm.C (Wt %)
Cu	29	K-Series	54,16	52,24	17,89	1,5
C	6	K-Series	39,32	37,92	68,72	4,8
O	8	K-Series	10,20	9,84	13,39	1,8
		Total	103,68	100	100	
Serbuk Cu						
El	AN	Series	Unn.C (Wt %)	Norm.C (Wt %)	Atom.C (Wt %)	Norm.C (Wt %)
C	6	K-Series	64,53	56,25	85,36	7,2
Cu	29	K-Series	47,55	41,37	11,88	1,3
C	8	K-Series	2,84	2,47	2,82	0,6
		Total	114,92	100	100	
Serbuk Cu						
El	AN	Series	Unn.C (Wt %)	Norm.C (Wt %)	Atom.C (Wt %)	Norm.C (Wt %)
Cu	29	K-Series	73,28	71,19	33,50	2,0



C	6	K-Series	20,99	20,39	50,77	2,7
O	8	K-Series	8,67	8,42	15,73	1,3
		Total	102,94	100	100	

Berdasarkan foto SEM pada **Gambar 4.6** dari struktur mikro serbuk tembaga menunjukkan bahwa partikel dari tembaga saling menempel satu sama lain dan beberapa ada yang menyebar sehingga membentuk seperti ranting ranting. Dari uji komposisi yang dilakukan menggunakan uji EDX pada **Tabel 4.4** diketahui bahwa partikel tembaga tidak memperlihatkan adanya pengotor. Untuk ukuran partikel dari serbuk tembaga menunjukkan ukuran antara 4 hingga 2  $\mu\text{m}$ . sehingga disini dari serbuk tembaga diindikasikan sebagai agglomerat atau penggumpalan hal tersebut terjadi karena proses manufaktur pembuatan serbuk dikarenakan menurut Paco (2006) menjelaskan bahwa persebaran partikel disebabkan oleh *rate* dari proses agglomerasi.

Untuk hasil SEM dari komposit Cu/PP pada **gambar 4.7** sendiri terlihat beberapa wilayah yakni bagian warna putih yang mengumpul dan beberapa tersebut yang diindikasikan sebagai unsur Cu sedangkan daerah yang lebih gelap diindikasikan sebagai matriks PP sedangkan bagian yang sangat gelap yang tersebar di beberapa bagian material komposit Cu/PP diindikasikan sebagai *void*. Berdasarkan pengujian EDX pada **Tabel 4.4** yang dilakukan terlihat partikel Cu mendominasi daerah komposit namun ada beberapa wilayah yang disitu Cu mengumpul sehingga terlihat lebih banyak di banding daerah lain sehingga persebaran partikel kurang merata. Sedangkan unsur lain yang ada adalah karbon yang disitu merupakan penyusun material Polipropilen dan unsur oksigen yang sangat tinggi dikarenakan besarnya *void* pada material komposit sehingga oksigen terperangkap di dalam material tersebut.

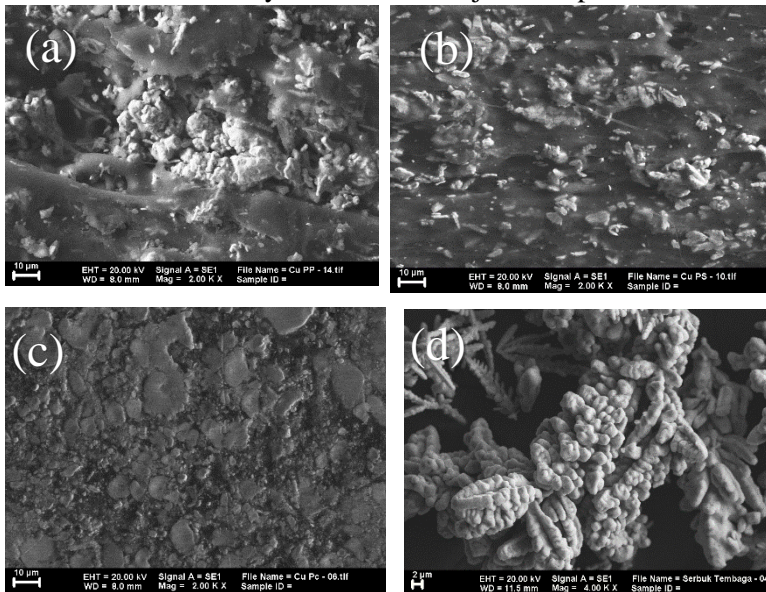
Untuk struktur mikro dari komposit Cu/PS pada **Gambar 4.8** terlihat ada bagian agak gelap yang mengindikasikan itu adalah



matriks PS sedangkan titik titik putih dan ada sebuah gumpalan berwarna putih pada bagian material tersebut mengindikasikan hal tersebut sebagai serbuk Cu sedangkan bagian yang lebih gelap yang tersebar di beberapa bagian material komposit tersebut diindikasikan sebagai *Void*. Pada struktur mikro komposit Cu/PS partikel Cu lebih tersebar merata di seluruh bagian material komposit. Selain itu ukuran dari Void tidak terlalu besar dibandingkan dengan komposit Cu/PP. Untuk hasil uji EDX pada **Tabel 4.4** sendiri terlihat unsur penyusun Cu lebih banyak dan tersebar dan itu berasal dari serbuk Cu sendiri lalu dilanjutkan unsur Carbon yang menunjukkan unsur penyusun dari polistirena yakni stirena yang akan dibahas lebih lanjut pada analisa hasil FTIR selanjut nya unsur oksigen sebesar 2% wt yang diindikasikan sebagai udara yang terperangkap pada material akibat proses manufaktur. Yang nanti menimbulkan void pada material.

Sedangkan untuk struktur mikro pada komposit Cu/PC pada **Gambar 4.9** terlihat lingkaran putih yang besar dan material tersebut diindikasikan sebagai serbuk Cu sedangkan daerah yang lebih gelap yang terbesar diindikasikan sebagai matriks PC dan daerah yang lebih gelap pada beberapa bagian diindikasikan sebagai *void* dari material. Pada mikrostruktur komposit Cu/PC ini partikel Cu banyak yang terjadi penggumpalan atau agglomerasi sehingga ada partikel yang ukurannya sangat besar dan juga ada beberapa partikel yang ukurannya sangat kecil dan tidak merata. Namun disini void terlihat lebih kecil dibandingkan dengan Cu/PP yang terlihat besar dan sangat terlihat. Dari hasil uji EDX pada **Tabel 4.4** menunjukkan unsur yang dominan adalah Cu dengan komposisi 73 wt% yaitu bulatan putih yang tersebar seluruh bagian material dilanjutkan dengan unsur Carbon yang merupakan unsur penyusun PC yakni bisfenol dan juga unsur oksigen yang tinggi dan diindikasikan sebagai unsur penyusun PC juga yakni bisfenol yang memiliki unsur penyusun karbon dan oksigen. Untuk *void* sendiri tidak begitu besar sehingga untuk oksigen yang terperangkap dan menjadi *void* jumlahnya hanya sedikit seperti

pada uji EDX komposit Cu/PS, oksigen yang hanya berjumlah 2 wt %. untuk bisfenolnya sendiri telah dijelaskan pada bab II.



**Gambar 4.10** Perbandingan persebaran serbuk material (a) komposit Cu/PP (b) komposit Cu/PS (c)Komposit Cu/PC (d) *raw* material Cu

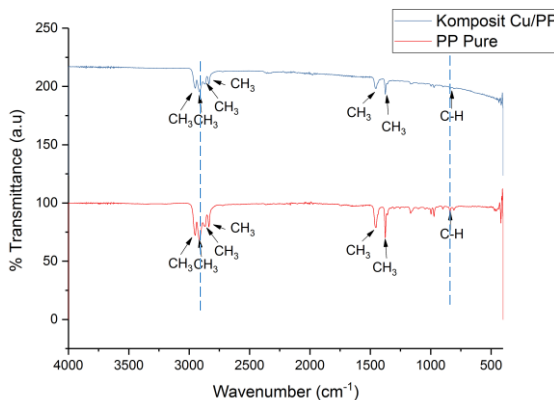
Dari hasil pengujian SEM/EDX dapat dianalisis bahwa persebaran partikel tembaga berbeda-beda pada tiap material komposit dan hal itu sangat mempengaruhi sifat dari material tersebut semakin menyebar partikel pada material komposit tersebut maka sifat mekanik yang di dapat semakin baik. Terlihat bahwa partikel pada komposit Cu/PS lebih menyebar dibandingkan dengan Cu/PP dan Cu/PC sehingga mengindikasikan karena persebaran partikel yang baik maka sifat yang diperoleh lebih baik sebagaimana yang terlihat pada **Gambar 4.10** seperti isi penelitian dari Park (2015) yakni ketika persebaran partikel semakin merata maka akan meningkatkan sifat mekanik kompsit Cu/Polimer. Selain itu timbulnya void dalam material tersebut juga



mempengaruhi kurangnya sifat mekanik yang dimiliki material tersebut sehingga diketahui sifat mekanik dari material tersebut kecil. Salah satu contohnya adalah komposit Cu/PP yang terlihat memiliki void yang agak besar sehingga sifat mekaniknya kurang dibanding dengan komposit Cu/PS yang void nya lebih kecil dan oksigen yang terperangkapnya lebih kecil. Sedangkan untuk polikarbonat void nya tidak begitu kecil apabila dilakukan proses manufaktur yang tepat maka sifatnya akan dapat lebih besar.

#### 4.1.5 Analisa Hasil Uji FTIR

Dari pengujian FTIR yang dilakukan pada raw material dan pada material komposit didapatkan bentuk mengetahui gugus fungsi dan ikatan polimer yang terbentuk. Beberapa data yang di dapatkan antara lain ditunjukkan pada **Gambar 4.11**



**Gambar 4.11** Analisis FTIR terhadap PP pure dan Komposit Cu/PP

Selanjutnya untuk list daerah serapan dari polipropilena akan dituliskan pada **Tabel 4.5**

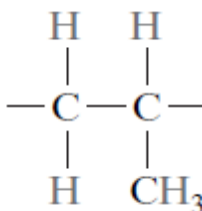
**Tabel 4.5** Daerah Serapan polipropilena (Socrates, 2001)

No	Daerah Serapan (cm <sup>-1</sup> )	Ikatan dan Jenis gugus fungsi
1	2948	CH <sub>2</sub> <i>Stretching</i>



		CH <sub>3</sub> <i>Stretching</i>
2	2915	CH <sub>2</sub> <i>Stretching</i> CH <sub>3</sub> <i>Stretching</i>
3	2836	CH <sub>2</sub> <i>Stretching</i> CH <sub>3</sub> <i>Stretching</i>
4	1452	CH <sub>2</sub> Deformasi CH <sub>3</sub> Deformasi
5	1375	CH <sub>3</sub> Deformasi
6	885	C-H <i>Out of plane</i>

Pada hasil FTIR tersebut yang menunjukkan adanya polipropilena pada material tersebut adalah adanya ikatan CH<sub>3</sub> lalu adanya C-H dan adanya ikatan CH<sub>2</sub> Sehingga terbentuknya gugus fungsi polipropilena. Pada gambar tersebut terlihat adanya ikatan CH<sub>2</sub> *Stretching* pada daerah serapan 2948-2836 cm<sup>-1</sup>, selanjutnya ikatan CH<sub>3</sub> pada daerah serapan 1375cm<sup>-1</sup> Deformasi dan yang terakhir adalah C-H pada daerah serapan 885 cm<sup>-1</sup> *Out of plane* sehingga terbentuk gugus fungsi pada **gambar 4.12** seperti yang tercantum pada buku Callister (2014)



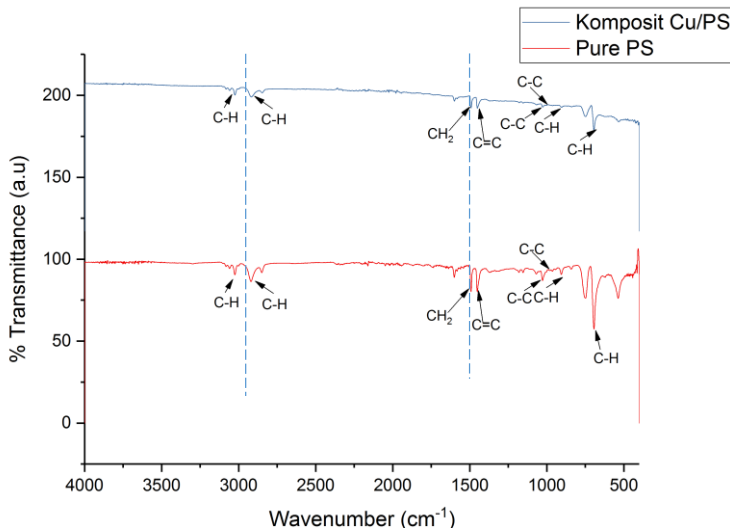
**Gambar 4.12** Gugus Fungsi Polipropilena berdasarkan Callister (2014)

Selanjutnya ketika diproses menjadi material komposit terjadi kenaikan peak yang terjadi pada daerah serapan 2948-2836 cm<sup>-1</sup> gugus fungsi CH<sub>2</sub>, lalu daerah serapan 1375cm<sup>-1</sup> gugus fungsi CH<sub>3</sub> dan 765 cm<sup>-1</sup> gugus fungsi C-H. Selain itu juga terjadi pergeseran daerah serapan yakni pada daerah serapan 2915 cm<sup>-1</sup> dan daerah 765 cm<sup>-1</sup> untuk PP *pure* bergeser pada daerah serapan 2925 cm<sup>-1</sup> dan pada daerah 885 cm<sup>-1</sup> sehingga dapat disimpulkan



terjadi interaksi antara antara polimer dan tembaga seperti pada penelitian Liu dkk, 2011 apabila terjadi perubahan *peak* maka terjadinya interaksi antara polimer dan tembaga.

Selanjutnya untuk hasil FTIR dari polistirena dan komposit Cu/PS ditunjukkan pada **gambar 4.13**



**Gambar 4.13** Hasil pengujian FTIR Komposit Cu/PS dan *pure* PS

Dari Hasil Pengujian tersebut diketahui beberapa daerah serapan untuk material polistirena yang ditunjukkan pada **Tabel 4.6**

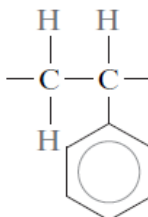
**Tabel 4.6** Tabel daerah serapan Polistirena (Bhavsar, 2018)

No	Daerah Serapan (cm <sup>-1</sup> )	Ikatan dan Jenis gugus fungsi
1	758	C-H Bending in <i>benzene</i> ring
2	906	C-H Rocking Mode
3	2851	C-H <i>Stretching</i>
4	3001	C-H <i>Stretching</i> in <i>Benzene</i> ring
5	964	C-C <i>Stretching</i> Mode



6	979	C-C <i>Stretching Mode</i>
7	1451	C=C <i>Stretching Mode</i>
8	1496	C=C <i>Stretching Mode</i>
9	1601	C=C <i>Stretching Mode</i>
10	1583	CH <sub>2</sub> <i>Wagging Mode</i>

Berdasarkan hasil FTIR dan tabel serapan FTIR gugus fungsi untuk identifikasi polistirena yakni C-H, aromatik *benzene* dan CH<sub>2</sub> sehingga dari beberapa daerah serapan tersebut adanya polistirena dibuktikan dengan adanya gugus fungsi C-H stretching 2851 cm<sup>-1</sup> lalu terbentuknya gugus fungsi C-H Bending in *benzene ring* pada daerah serapan 758 cm<sup>-1</sup> lalu terbentuknya gugus fungsi CH<sub>2</sub> pada daerah serapan 1583 cm<sup>-1</sup> sehingga membentuk gugus fungsi polistirena seperti pada **gambar 4.14**



**Gambar 4.14** Gugus Fungsi Polistirena menurut Callister (2014)

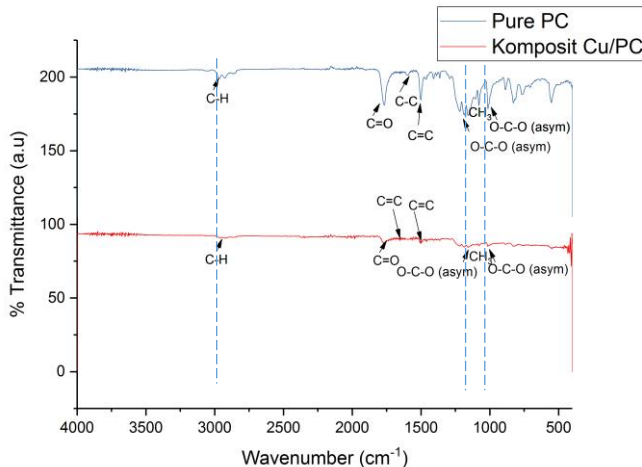
Setelah teridentifikasi bahwa terdapat polistirena selanjutnya apabila diperhatikan pada spektrum FTIR yang terbentuk pada material komposit Cu/PS maka akan terlihat sedikit perbedaan yakni terdapat kenaikan *peak* yang terjadi disebabkan karena penambahan unsur Tembaga dalam material komposit. Selain terjadi kenaikan *peak* terjadi juga pergeseran *peak* akibat penambahan tembaga. Hal itu terjadi pada daerah serapan 1496 cm<sup>-1</sup> bergeser pada daerah 1486 cm<sup>-1</sup> pada gugus fungsi C=C *Stretching* selanjutnya adalah pada daerah serapan 2851 cm<sup>-1</sup> yang bergeser pada *peak* 2841 cm<sup>-1</sup> pada gugus fungsi C-H *stretching* sehingga dari dapat dipastikan juga dengan penambahan unsur Tembaga menyebabkan terjadinya pergeseran *peak* sehingga dimungkinkan terjadinya interaksi antara Cu dan PS sama seperti halnya Cu dan PP sehingga dapat disimpulkan bahwa penanaman





Cu pada material PS menimbulkan pergeseran rantai polimer seperti yang dikemukakan Liu,dkk (2011).

Selanjutnya analisis hasil FTIR dari *pure* polikarbonat dan komposit Cu/PC yang dibuat dalam sebuah grafik pada **gambar 4.15**.



**Gambar 4.15** Hasil pengujian FTIR pada *pure* PC dan komposit Cu/PC

Dari hasil FTIR tersebut diketahui daerah hasil serapan untuk polikarbonat yang akan dijelaskan pada **tabel 4.7** antara lain

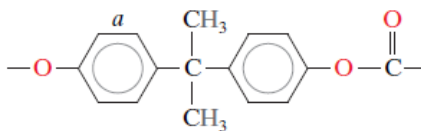
**Tabel 4.7** Tabel daerah serapan Polikarbonat (Larosa, 2017)

No	Daerah Serapan ( $\text{cm}^{-1}$ )	Ikatan dan Jenis gugus fungsi
1	2927-3000	C-H Aromatic Ring
2	1790	C-O Deformasi
3	1600	C-C Stretching (benzene ring)
4	1504	C=C Vibrasi
5	1165-1232	O-C-O Stretching mode
6	1125	CH <sub>3</sub> Stretching
7	1788	C=O Band



8	1518	C=C band
9	1233-1200	O-C-O Stretching mode

Berdasarkan data yang di dapat bahwa untuk dapat menganalisis gugus fungsi dari polikarbonat yakni adanya aromatik *benzene*, CH<sub>3</sub>, O-C-O, C=C, C-C, dan C=O dari syarat tersebut diidentifikasi untuk gugus fungsi 2927-3000 C-H aromatik *ring* pada daerah serapan 1600 cm<sup>-1</sup> selanjutnya untuk O-C-O *stretching* pada daerah 1233-1200 cm<sup>-1</sup>, C=C *band* pada daerah 1218 cm<sup>-1</sup>, C-C *Stretching* pada daerah serapan 1600 cm<sup>-1</sup>, CH<sub>3</sub> *stretching* pada daerah 1125 cm<sup>-1</sup> dan ikatan C=O *band* pada 1788 cm<sup>-1</sup> sehingga apabila disusun akan sama seperti pada gugus fungsi seperti yang tercantum dalam Callister (2014) yakni pada **gambar 4.16**



**Gambar 4.16** Gugus fungsi polikarbonat menurut Callister (2014)

Berdasarkan perbandingan grafik FTIR yang telah di buat terjadi perbedaan antara grafik *pure* polikarbonat dengan komposit Cu/PC. Yang pertama terletak pada perbedaan *peak* yang terlihat sangat jelas pada seluruh daerah resapan. Bahkan ada beberapa daerah resapan yang hampir tidak terlihat *peak* nya antara lain adalah pada daerah CH<sub>3</sub> *Stretching* yakni pada daerah serapan 1125 cm<sup>-1</sup> dan daerah resapan 1504 cm<sup>-1</sup> dengan gugus fungsi C=C *Vibrasi*. Dan yang kedua adalah pergeseran *peak* yang terjadi 1170 cm<sup>-1</sup> menjadi 1178 cm<sup>-1</sup> pada gugus fungsi O-C-O *stretching* selanjutnya adalah pada daerah serapan 1232 cm<sup>-1</sup> menjadi 1222 cm<sup>-1</sup> pada gugus fungsi O-C-O *Stretching* dan yang terakhir pada daerah serapan 2980 cm<sup>-1</sup> menjadi 2971 cm<sup>-1</sup> pada gugus fungsi C-H *aromatic Ring*. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan terjadi interaksi antara polimer dengan tembaga akibat perubahan *peak* dan juga pergeseran daerah resapan sehingga sama dengan bahan



penyusun polipropilena maupun polistirena sama sama terjadi perubahan sehingga sama-sama terjadi interaksi dengan tembaga seperti penelitian dari Liu,dkk, 2011

Sehingga dari uji FTIR seluruh material penyusun komposit terjadi perubahan *peak* dan juga pergeseran *peak* sehingga dapat disimpulkan seluruh material penyusun terjadi interaksi ketika ditambahkan dengan unsur tembaga menjadi komposit Cu/Polimer dan hal itupun mempengaruhi sifat material setelah dijadikan komposit seperti yang telah di bahas pada sub bab sebelumnya mengenai sifat mekanik dan morfologi bahwa memang terjadi perubahan sifat pada material.

## 4.2 Pembahasan

Dari proses pembuatan komposit yakni pencampuran antara 3 buah polimer berbeda dengan tembaga dengan parameter komposisi dapat dilakukan dengan baik. Tembaga dengan 3 jenis polimer yakni polikarbonat, polistirena dan polipropilena tercampur dengan baik dan dapat homogen atau menyatu satu dengan yang lain. namun pada proses pembuatan tersebut terkendala pada proses pencetakan yang kurang sempurna sehingga timbul porositas yang besar terutama pada polikarbonat. Sehingga sifat-sifat yang sesuai dengan spesifikasi tidak bisa dicapai. Namun dalam hal ini ada beberapa variasi yang telah dapat memenuhi spesifikasi dan layak menjadi kandidat material peluru *frangible* sesuai dengan yang disyaratkan oleh kruattachurat,dkk (2009) dan Hansen (2008).

Dari analisa data yang telah dilakukan maka komposisi dan jenis polimer berpengaruh terhadap sifat mekanik dari material komposit. Seperti yang telah dijelaskan pada pengujian sifat mekanik yakni uji tekan, dan uji kekerasan terjadi kenaikan nilai ketika terjadi kenaikan komposisi tembaga pada material komposit Cu/Polimer sehingga sifat mekanik yang di dapat akan lebih tinggi sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh park (2016) bahwa seiring dengan kenaikan komposisi Cu maka kekuatan mekanik dari komposit Cu/Polimer akan naik. Selanjutnya untuk



material sendiri, perbedaan material akan mempengaruhi sifat mekanik dari material komposit Cu/Polimer. Berdasarkan data dari Callister (2014) bahwa tiap jenis polimer memiliki sifat mekanik yang berbeda beda dan urut dari yang paling besar yakni polikarbonat, diikuti polistirena dan yang terakhir adalah polipropilena. Hal itu memang sesuai namun ada perbedaan dengan polikarbonat. Polikarbonat yang harusnya memiliki sifat mekanik paling tinggi ternyata material dengan sifat mekanik terendah. Hal itu diidentifikasi sebagai kesalahan proses manufaktur. Namun secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa pengaruh jenis polimer dan komposisi material adalah semakin tinggi komposisi tembaga maka akan didapat sifat mekanik yang tinggi juga dan untuk jenis polimer adalah apabila polimer tersebut memiliki jenis yang berbeda dan sifat berbeda maka akan didapat sifat mekanik yang berbeda pula, apabila memiliki *raw* material dengan sifat mekanik yang tinggi maka sifat mekanik yang dihasilkan pada material komposit akan semakin tinggi.

Untuk pembahasan pengaruh terhadap sifat fisik adalah seiring dengan kenaikan komposisi tembaga maka akan terjadi kenaikan pada densitas material tersebut sesuai dengan teori pencampuran yang dicantumkan dalam buku Callister (2014) mengenai teori pencampuran. Untuk sifat porositas sendiri komposisi tidak mempengaruhi. Namun hal yang mempengaruhi adalah pada proses pembuatan spesimen, berdasarkan data yang ada pada grafik 4.3 bahwa trend yang ada tidak beraturan ada yang naik ada yang turun sehingga dapat disimpulkan porositas tidak berpengaruh terhadap komposisi namun sangat berpengaruh pada jenis material. Polistirena cenderung lebih kecil porositasnya diikuti oleh polipropilena dan yang terakhir adalah polikarbonat dengan nilai porositas yang tinggi. berdasarkan analisa proses pembuatan diketahui bahwa void yang dimiliki oleh Komposit Cu/PC lebih besar dibanding yang lain. sehingga sangat mempengaruhi sifat yang lain yakni kekerasan, kuat tekan, modulus elastisitas dan densitas. Komposit Cu/PC yang harusnya lebih baik menjadi nilainya paling kecil dibandingkan yang lain.



apabila diperlihatkan pengujian SEM diketahui bahwa penyebaran serbuk dari material Cu/PS lebih merata dibandingkan dengan Cu/PP maupun Cu/PC sehingga sifat mekanik yang optimal didapatkan oleh Cu/PS. Selain itu karena porositas yang rendah dari Cu/PS maka pada pengujian EDX didapat kadar oksigen yang rendah pada komposit Cu/PS yakni sebesar 2,47 %. Untuk komposit Cu/PC sendiri sebenarnya apabila diteliti secara mikrostruktur void yang didapat tidak begitu besar seperti komposit Cu/PP yang memiliki kadar oksigen mencapai 10 %. Namun karena parameter yang sulit dikendalikan dari PC maka sifat komposit Cu/PC tidak memenuhi spesifikasi dan timbul porositas yang besar. Namun apabila dilihat dari struktur mikro Cu memiliki daya ikat yang bagus ke tembaga. Meskipun penyebaran serbuk tidak merata namun void yang ditimbulkan secara mikro sangat kecil dibanding komposit Cu/PP. Lalu pada pengujian gugus fungsi FTIR diketahui bahwa setiap material polimer penyusun komposit Cu/polimer memang dapat berinteraksi dengan Cu dibuktikan dengan pergeseran peak maupun kenaikan yang terjadi pada peak di setiap daerah serapan spektrum. Dan terbukti pada sifat mekanik terjadi kenaikan sifat baik fisik maupun mekanik.

Selanjutnya apabila dibandingkan dengan standar yang dimiliki oleh hansen dan kruattachurat maka material dan komposisi yang cocok sebagai kandidat apa bila memenuhi persyaratan yang diberikan yakni densitas  $1,75 \text{ g/cm}^3 - 8,25 \text{ g/cm}^3$  kekerasan 54-119 HV dan kekuatan tekan 31-310 MPa yakni komposit Cu/PS dengan komposisi 70%Cu dan 30 % PS dengan nilai densitas sebesar  $2,51 \text{ g/cm}^3$ , kekerasan 112,27 HV, dan kekuatan tekan 53,08 MPa. Sedangkan untuk material lainnya hanya mencapai salah satu aspek baik kekerasan maupun kekuatan tekan namun tidak mencapai semua aspek seperti material Cu/PS tersebut.



*(halaman ini sengaja dikosongi)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa data dan pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengaruh Jenis polimer dan Wt% tembaga terhadap sifat mekanik antara lain :
  - a. Jenis Polimer mempengaruhi sifat mekanik dari komposit Cu/Polimer yaitu dengan perbedaan jenis polimer maka sifat mekanik yang didapat akan berbeda pula tergantung pada sifat mekanik yang dimiliki polimer semakin baik sifat mekaniknya maka sifat mekanik komposit semakin bagus dengan nilai maksimum didapat oleh Polistirena dengan kuat tekan 53,08 MPa, modulus elastisitas 2,377 GPa, dan kekerasan 112,27 HV
  - b. Wt% mempengaruhi sifat mekanik dari komposit Cu/Polimer yaitu dengan kenaikan Wt% tembaga maka sifat mekanik yang didapat akan naik juga dengan nilai maksimum di dapat pada komposisi 70% Wt tembaga dengan kuat tekan 53,08 MPa, modulus elastisitas 2,377 GPa, dan kekerasan 112,27 HV
2. Pengaruh Jenis polimer dan Wt% tembaga terhadap sifat fisik antara lain :
  - a. Jenis Polimer mempengaruhi fisik Cu/Polimer yaitu dengan perbedaan jenis polimer maka sifat fisik, karakteristik dan struktur mikro yang didapat akan berbeda.
  - b. Wt% mempengaruhi sifat fisik dari komposit Cu/Polimer yaitu sifat fisik, karakteristik dan struktur mikro yang didapat akan berbeda

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan saran untuk penelitian selanjutnya adalah :



1. Dilakukan treatment pada Raw material tembaga agar serbuk tembaga yang agglomerat bisa lebih menyebar agar sifat mekanik lebih optimum
2. Sebaiknya dilakukan metode manufaktur *Compression Molding* agar mengurangi nilai porositas yang didapat
3. Perlu dilakukan metode pencampuran komposit yang baru agar mempercepat pengerjaan komposit
4. Parameter dalam pemrosesan polimer polikarbonat harus benar benar diperhatikan karena polikarbonat memiliki sifat mekanik yang tinggi namun susah untuk di proses



## DAFTAR PUSTAKA

- ASM. 2001. **ASM Handbook Volume 21 Composite**. Ohio: ASM International
- ASM. 2001. **ASM Handbook Volume 2 Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. Ohio: ASM International
- Banovic. 2007. **Proyektil frangible untuk menguji body armor proyektil dibuat dengan proses metalurgi serbuk dengan bahan baku Cu-Sn**. Amerika Serikat : Material Science and Engineering A
- Battacharya, Swapan K. 1978. **Effect of particle size on the mechanical properties of poly(vinylchloride)-copper particulate composite** Kluwer: Transition Met Chem
- Bhavsar, R.S. 2012. **Sonication-assisted drug encapsulation in layer-by-layer self-assembled gelatin-poly (styrenesulfonate) polyelectrolyte nanocapsules: process optimization**. Maharashtra : Institute of Pharmaceutical.
- Billewicz, M. 2008. **Polymer Composite Strengthening by Developed Injection Molding Technique**. Portugal : JAMME
- Billmeyer, Fred W. 1984. **Textbook of Polymer Science**. New York : John Wiley & Son
- Bray, Alan V,dkk,. 1997. **High Density Composite Material**. Amerika:Austin,TX. Nomor Paten: 6,517,774 B1
- Brydson. 1982. **Plastic Material 5th Edition**. Loughborough :Butterworth
- Burrow, Lonnie. **Polymer Ammunition Having a Projectile Made by Injection Molding**. Amerika Serikat. Nomor Paten : US 20170089673 A1
- Callister, William D. dan David G. Rethwisch. 2014. **Material Science and Engineering An Introduction 9th Edition**. New York: Mc Graw Hill Book.
- Chaesaroni, Anthony Joseph. 2009. **Lead Fre Projectiles**. Amerika Serikat. Nomer Paten : US20040129165A1

- Chan, S.I.1982. **Metalloproteins: Theory, Calculations, and Experiments**. Boca Raton: CRC Press.
- Davis, George B. Dan John R. Bainer. 1999. **Jacketed frangible bullets**. Nomer Paten : WO2000062009A1
- Dewanto, Hizkia Alpha. 2014. **Pengaruh Presentase Berat Binder Polimer Poliamida-6 dan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Projektil Peluru Frangible Komposit Tembaga Poliamida 6 (Cu-Pa6)**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Feldman D, dan A. J. Hartomo.1995. **Bahan Polimer Konstruksi Bangunan**. Jakarta:Gramedia Pustaka Utama.
- Ferlund, G.Dkk. 2016. **Causes and remedies for porosity in composite manufacturing**. New York:Wiley
- Frixxel, Holden Charles. 2013. **Projectiles, missiles or mines characterised by the warhead**. Nomer Paten : US1512026A
- Hansen, R.D. 2008. **Bullet Composition**. Amerika Serikat. Nomor Paten : US 7,392,746 B2.
- Hosta A dan Widyastuti, 2018. **Penelitian Peluru *Frangible* Berbasis Polimer**. LPDP:Jakarta
- J. A. Brydson. 1982. **Plastics Materials 4th edition**. London: Butterworth Scientific
- Kaw, Authar.K .2006. **Mechanic of Composite Material Second Edition**. Boca Raton: Taylor & Franciss group,LLC.
- Kelter, Rick. 2011. **Cast Bullet alloys & Alloy Maintenance**. <[www.lasc.us/Kelter\\_Cast\\_bullet\\_alloys2.pdf](http://www.lasc.us/Kelter_Cast_bullet_alloys2.pdf)> .
- Khoiril Metrma S. 2015. **Variasi Temperatur Sintering Dengan Komposisi Binder 10% wt Sn Dengan variasi Temperatur Sintering**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kiki, Siagian A,. 2009. **Pemanfaatan Limbah Plastik Polipropilena (PP) Sebagai Matriks Komposit Dengan Bahan Penguat Serat Kaca**. Medan : Fakultas MIPA Universitas Sumatera Utara.

- Kolb, Christopher W. 2006. **Particulate compositions of particulate metal and polymer binder**. Starck H C Inc. Nomer paten : US20060027129A1.
- Kruachaturrat, S.dkk,. 2009.**Sintering Cu-Sn Material for Frangible Bullets**. Bangkok : TMETC-3.
- Leasure, D.John. 2015. **Cartridge Cases of Plastics, i.e. The Cartridge-Case Tube is of Plastics**. French: Mac LLC.
- Li, M dan S.J Zinkle. 2012. **Physical and Mechanical Properties of Cooper and Copper Alloys**. Argonne : Argonne National Labolatory.
- Liu, Aijie dan Bac Luong. **Preparation and Characterization of Polyaniline-Copper Composites by Electrical Explosion of Wire**. Hanoi:Pubmed
- Mazumdar, S.K. 2002. **Composites Manufacturing Materials Product and Process Engineering**, Florida : CRC Press LLC.
- Mates, Steven P., dkk.2006. **High Rate Tensile Strength Measurengements of Frangible Bullets Using a Kolsky Bar**. Maryland : National Institute of Standard and Technology.
- Mallick,P.K. 2007. **Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design**. New York: CRC Press.
- Mikko, Don., Michael Kelley dan Jerry Miller.2008. Frangible Bullets, Dynamic Reseach Technologies. **AFTE Journal**—Volyume 40 Number 1—Winter 2008.
- Mullins, John F. (2001). **Frangible Amunition: The New Wave in Firearms Ammunition**. Paladin Press, Boulder CO.
- Mujiarto, Imam. 2005. **Sifat dan karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif**. Semarang : Traksi. Vol 3 no 2.
- Nadkarni, Anil V., 2003. **Lead-Free Frangible Bullets and Process For Making Same**. Amerika Serikat. Nomor Paten : US 6,536,352 B1.
- Poco, Joao Guilherme Rocha, Dkk.2006. **Production of Metallic Copper Powder by Autocatalytic Reaction in Suspension**. Brazil : University of Sao Carlos.

- Park, Jeong Heon.,Dkk. 2016. **Experimental Study on the Thermal and Mechanical properties of MWCNT/Polymer and Cu/Polymer**. Jeonbuk : Elsevier
- Potvin, Marc. 1993. **Frangible practice ammunition**. SNC Technology. Nomer Paten : US5237930A.
- Pramono, A. E.,2012. **Karakteristik Komposit Karbon Berbasis Limbah Organik Hasil Proses Tekan Panas**. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Rachman, Aji.2008. **Studi Pengaruh Kondisi Pengujian Tarik Pada Film Plastik Bopp**. Universitas Indonesia : Depok.
- Ridwan, Muhammad. 2013. **Pembuatan Komposit dengan Matrik Limbah Plastik diperkuat dengan Serat Kaca**. Palembang : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
- Saptono, Rahmat. 2008. **Pengetahuan Bahan Polimer**. Depok : Departemen Metalurgi dan Material FT-UI.
- Serini, Volker. 2000."**Polycarbonates**" in **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**, Weinheim:Wiley-VCH. doi:10.1002/14356007.a21\_207
- Sidik, Romlan. 2014. **Pengaruh Presentase Berat Binder Polimer Poliamida-6 dan Temperatur Sintering Terhadap Pragibility dan Performa Balistik Proyektil Peluru Frangible Komposit Tembaga Poliamida 6 (Cu-Pa6)**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Smallman, R.E dan R.J Bishop.1999. **Modern and Physical Metallurgy and Material Engineering 6th Edition**. Birmigham : Elsevier.
- Socrates, George. 2001. **Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts, 3rd Edition**. NewYork : John Wiley and Son.
- Sonoda, kensaku.,Dkk. 2011. **Dielectric property of Cu powder/polymer composites**. Polandia : Material Science-Poland.
- Suminar, Hart.2007. **Kimia Polimer**. Bandung:Institut Teknologi Bandung

- Vicko. 2015. **Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Variasi Cu-10%wt Sn**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Wright, S.C. 1993. **Ballistic Impact of Polycarbonate—An Experimental Investigation**. New York: Elsevier
- Y.C. Chan, A.C.K. So, and J.K.L. Lai. 1998. **Mater. Sci. Eng.** Taiwan: B 55
- Zhou, Qi. 2011. **Strong and tough cellulose nanopaper with high specific surface area and porosity**. New York: American Chemical Society
- Zhu, Ping dkk. 2017. **Production and characterization of recycled polycarbonate based composite material containing recycled glass fibers**. Shanghai:Elsevier.

*(halaman ini sengaja dikosongi)*

## BIODATA PENULIS



Fajryansya Miftahul falah lahir di Surabaya pada tanggal 21 Februari 1996. Penulis merupakan putra pertama Khoiril Anwar,S.Pd., M.M dan Dra. Nurrul Agung Marwati, M.M. dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Al-Kautsar Driyorejo-Gresik, SDN Kebraon II Surabaya, SMP Negeri 12 Surabaya dan SMA Negeri 5 Surabaya. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Departemen Teknik Material – Fakultas

Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya angkatan 2014.

Di Departemen Teknik Material ini, penulis mengambil Bidang Studi Material Inovatif. Selama berkuliah di ITS, penulis aktif mengikuti kegiatan ekstrakurikuler, antara lain di Unit Kegiatan Mahasiswa Pramuka sebagai Kepala Bidang Public Relation (2015-2016) dan sebagai sekretaris UKM Pramuka (2017-2018), di LDJ Ash Haabul Kahfi-JTMM sebagai Wakil Kepala Departemen Humas (2016-2017). Prestasi yang didapatkan antara lain pernah lolos pendanaan PKM –GT (2016) dan rencana gotong royong Pertinas V Gerakan Pramuka Kwartir Nasional Indonesia. Pengalaman kerja yang pernah ditempuh penulis yakni menjadi tenaga pengajar ekstrakurikuler di SD Al Azhar Mulyosari, SDN Ngagelrejo 3 dan SDI Darussalam Nginden tahun 2014-2017 lalu kerja praktik di PT. Dirgantara Indonesia (Persero) Attachment pada bulan Juli hingga Agustus 2017.

Penulis dapat dihubungi melalui email  
fajryansyamiftah@gmail.com

## LAMPIRAN

### 1. Hasil Perhitungan Densitas dan porositas

No	Jenis Polimer	Komposisi Tembaga	Massa (g)	Massa dalam air (g)	Densitas Komposit (g/cm <sup>3</sup> )	rata-rata densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Deviasi
	PP	30%	1,150	1,130	1,018	1,069	0,075
			0,970	0,840	1,155		
			1,200	1,160	1,034		
		50%	2,060	1,370	1,504	1,431	0,081
			1,800	1,340	1,343		
			2,300	1,590	1,447		
		70%	3,180	1,440	2,208	2,090	0,112
			3,000	1,510	1,987		
			3,070	1,480	2,074		
2	PS	30%	1,950	1,810	1,077	1,250	0,150
			2,040	1,510	1,351		
			1,970	1,490	1,322		
		50%	2,580	1,420	1,817	1,714	0,093



3	PC	70%	2,580	1,530	1,686	2,505	0,097
			2,440	1,490	1,638		
			3,610	1,380	2,616		
		30%	3,740	1,520	2,461	1,032	0,071
			3,780	1,550	2,439		
			1,660	1,500	1,107		
		50%	1,290	1,260	1,024	1,364	0,115
			1,370	1,420	0,965		
			2,000	1,510	1,325		
		PC-Cu 70%	1,770	1,390	1,273	2,083	0,232
			2,090	1,400	1,493		
			3,520	1,570	2,242		
			3,330	1,520	2,191		
			3,070	1,690	1,817		

no	jenis Polimer	komposisi tembaga	Densitas teoritis (g/cm <sup>3</sup> )	Densitas Percobaan (g/cm <sup>3</sup> )	nilai porositas (%)
1	PP	PP-Cu 30%	1,17	1,07	8,90

		PP-Cu 50%	1,56	1,43	8,32
		PP-Cu 70%	2,33	2,09	10,35
2	PS	PS-Cu 30%	1,31	1,25	4,66
		PS-Cu 50%	1,73	1,71	1,19
		PS-Cu 70%	2,56	2,51	2,15
3	PC	PC-Cu 30%	1,62	1,03	36,36
		PC-Cu 50%	2,12	1,36	35,57
		PC-Cu 70%	3,05	2,08	31,65

### Perhitungan Pengujian tekan

N o	Jenis Polim er	Komposi si Tembaga (wt%)	Beban (kg)	Rata-rata Beban (kg)	Perubah an L (mm)	Rata- Rata Perub ahan L (mm)	Kekua tan Tekan (MPa)	Elon gasi (%)	Modul us Elastis itas (GPa)	Devias i
1	PP	30%	50	86,66666 67	9,1	10,85	11,04	54,2 5	0,204	4,474
			120		11,59					
			90		11,86					
		50%	95	110	5,06	5,45	14,01	27,2 5	0,514	2,776
			100		5,5					
			135		5,79					
		70%	260	185	3,7	4,276 667	23,57	21,3 8	1,102	8,280
			145		3,65					
			150		5,48					
2	PS	30%	120	291,6666 67	6,48	5,78	37,15	28,9 0	1,286	18,963
			370		5,47					
			385		5,39					
		50%	390	345	5,44		43,95		1,560	13,969

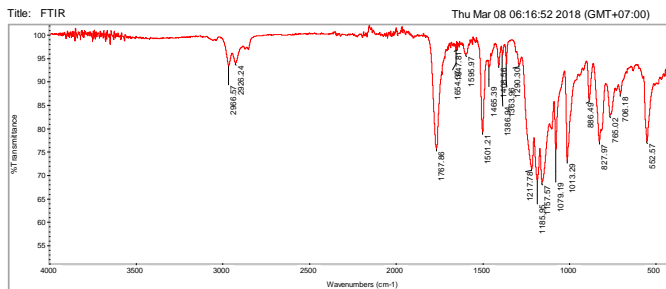
			425	416,6666 67	5,04	5,633 333		28,1		
			220		6,42			7		
			485		4,82			22,3		
			490		4,9			3		
		70%	275		3,68	4,466 667	53,08		2,377	15,632
3	PC	30%	50	45	7,3	7,026 667	5,73	35,1 3	0,163	1,685
			55		4,74					
			30		9,04					
		50%	70	115	6,1	6,36	14,65	31,8 0	0,461	6,890
			100		6,5					
			175		6,48					
		70%	100	146,6666 67	5,39	5,37	18,68	26,8 5	0,696	7,705
			125		5,61					
			215		5,11					

## 2. Perhitungan Uji Kekerasan

No	Jenis Polimer	Komposisi Tembaga (wt%)	Kekerasan (HV)	Rata-rata Kekerasan (HV)	Deviasi
1	PP	30%	38,9	53,866666 7	17,6296152 3
			49,4		
			73,3		
		50%	85,5	85,466666 7	27,1500153 5
			112,6		
			58,3		
		70%	65,4	97,666666 7	27,9437530 3
			113,8		
			113,8		
2	PS	30%	54,6	55,1	2,48797106 1
			52,9		
			57,8		
		50%	80,1	87,133333 3	24,4217799
			67		
			114,3		
		70%	107,9		

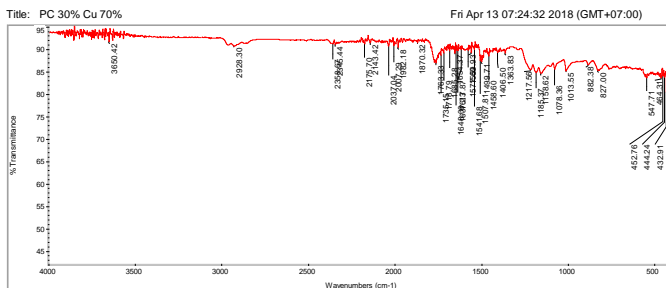
3	PC		113,8	112,26666 7	3,83709959 9
			115,1		
		30%	41,1	44,233333 3	2,82901631 9
			45		
			46,6		
		50%	49,5	60,633333 3	12,5285008 4
			58,2		
			74,2		
		70%	92,4	95,5	15,4845083 9
			81,8		
			112,3		

### 3. Hasil FTIR



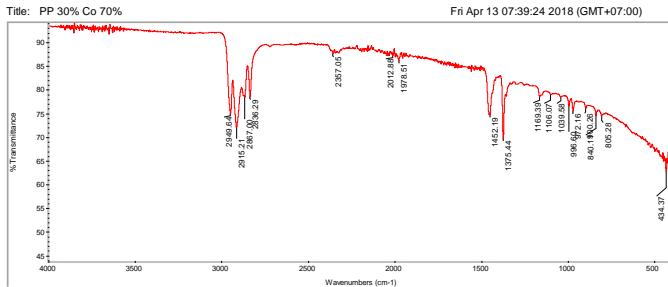
Collection time: Tue Mar 06 14:09:10 2018 (GMT+07:00) Spectrum: FTIR Region: 3495.26-455.13 Correlation: 17787

Index	Match	Compound name	Library
74.61	74.61	Poly(bisphenol a carbonate), average MW ca. 64,000	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
670	74.61	Polycarbonate resin	HR Nicolet Sampler Library
17824	73.95	Polycarbonate resin, ultra high molecule r weight	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
316	73.87	Polycarbonate + polystyrene:acrylonitril (acutadiene)	HR Hummel Polymer and Additives
306	66.21	Polycarbonate, bisphenol A	HR Hummel Polymer and Additives
823	64.04	Polycarbonate + 1% TTTTCNQ	HR Hummel Polymer and Additives
616	63.33	Polycarbonate + polystyrene:acrylonitril (acutadiene)	HR Nicolet Sampler Library
315	60.19	Polycarbonate + polystyrene:acrylonitril (acutadiene)	HR Hummel Polymer and Additives
606	57.86	Polycarbonate, Bisphenol A	HR Nicolet Sampler Library
307	55.94	Polycarbonate, bisphenol A	HR Hummel Polymer and Additives



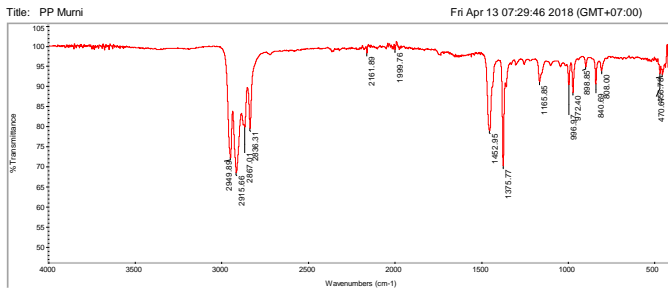
Collection time: Fri Apr 13 07:23:03 2018 (GMT+07:00) Spectrum: PC 30% Cu 70% Region: 3495.26-455.13 Correlation: 17787

Index	Match	Compound name	Library
52	52.35	POLYCARBONATE	Hummel Polymer Sample Library
101	39.44	NORCAMPHOR, 97%	Aldrich Vapor Phase Sample Library
63	38.28	DIETHYLCARBONATE, 99%	Aldrich Condensed Phase Sample Library
17787	35.87	Poly(bisphenol a carbonate), average MW ca. 64,000	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
670	35.87	Polycarbonate resin	HR Nicolet Sampler Library
17824	34.91	Polycarbonate resin, ultra high molecule r weight	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
316	33.88	Polycarbonate + polystyrene:acrylonitril (acutadiene)	HR Hummel Polymer and Additives
108	33.13	2-PYRROLIDINONE, 98%	Aldrich Vapor Phase Sample Library
98	32.76	BENZYL ACETATE, 99+%	Aldrich Vapor Phase Sample Library
17	31.79	ETHYL ACETATE, 99.5+%, SPECTROPHOTOMETR C GRADE	Aldrich Vapor Phase Sample Library



Collection time: Fri Apr 13 07:37:05 2018 (GMT+07:00) Spectrum: PP 30% Co 70%  
Fri Apr 13 07:38:43 2018 (GMT+07:00) Region: 3495.26-455.13  
FID Peaks: Spectrum: PP 30% Co 70% Search type: Correlation  
Region: 4000.00 400.00  
Absolute Intensity: 87.623  
Sensitivity: 50

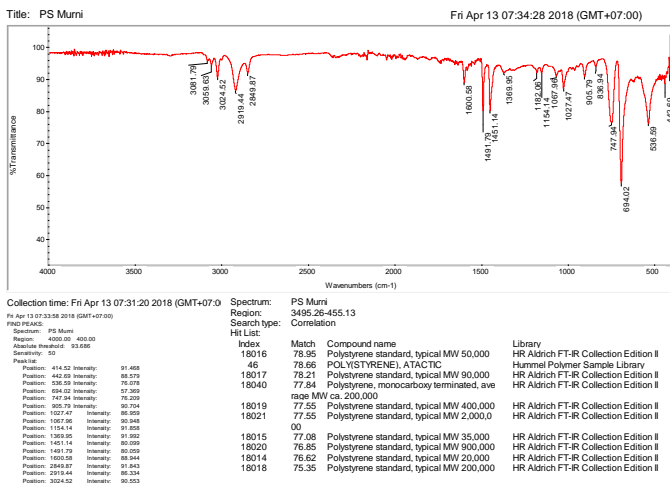
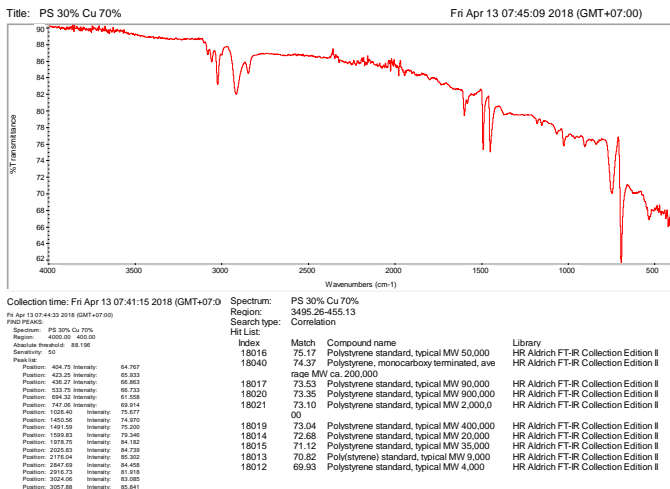
Peak list	Match	Compound name	Library
Position: 416.54 Intensity: 60.401	41	87.77 POLY(PROPYLENE), ATACTIC	Hummel Polymer Sample Library
Position: 434.37 Intensity: 62.365	942	83.87 Polypropylene, isotactic	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 572.16 Intensity: 75.435	17997	83.49 Polypropylene, isotactic, average MW ca.	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
Position: 598.60 Intensity: 76.541	324	83.04 Polypropylene + poly(ethylene-propylene)	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 1375.44 Intensity: 69.678	38	82.09 POLY(PROPYLENE), SYNDIOTACTIC	Hummel Polymer Sample Library
Position: 1452.19 Intensity: 74.687	80.94	Polypropylene, atactic	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 1579.51 Intensity: 86.157	943	79.91 Polypropylene, atactic	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 2012.88 Intensity: 87.656	737	79.43 Polypropylene	HR Nicolet Sampler Library
Position: 2387.05 Intensity: 87.522	499	76.32 Polypropylene(ethylene), 83 mol% C3	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 2580.29 Intensity: 78.478	624	76.15 Polypropylene+poly(ethylene-propylene)	HR Nicolet Sampler Library
Position: 2887.00 Intensity: 78.360			
Position: 2915.21 Intensity: 71.665			
Position: 2949.64 Intensity: 74.859			



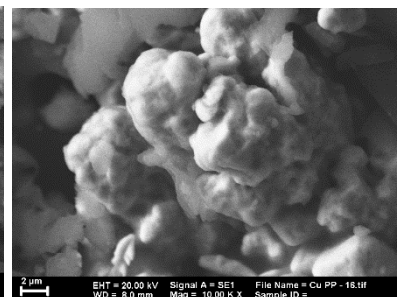
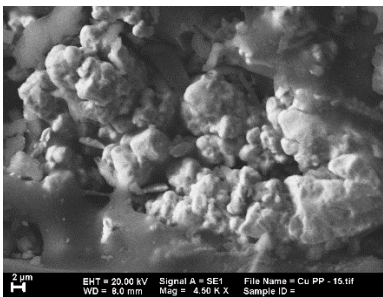
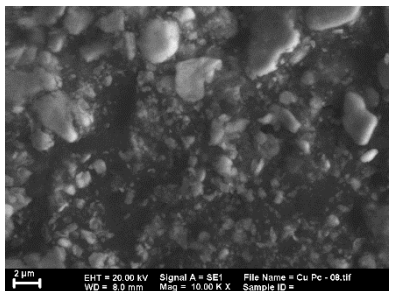
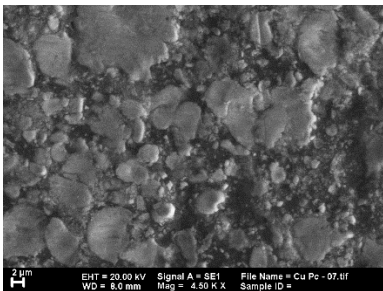
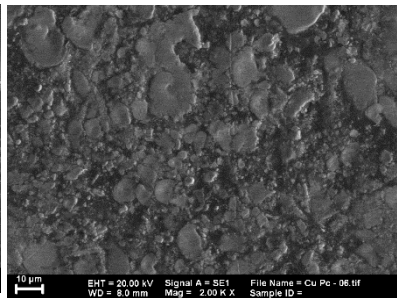
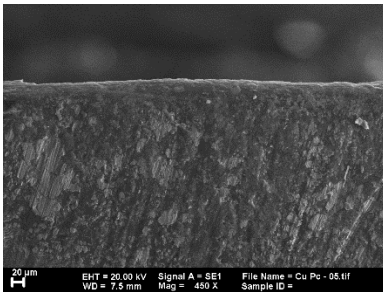
Collection time: Fri Apr 13 07:27:52 2018 (GMT+07:00) Spectrum: PP Murni  
Fri Apr 13 07:29:30 2018 (GMT+07:00) Region: 3495.26-455.13  
FID Peaks: Spectrum: PP Murni Search type: Correlation  
Region: 4000.00 400.00  
Absolute Intensity: 99.212  
Sensitivity: 50

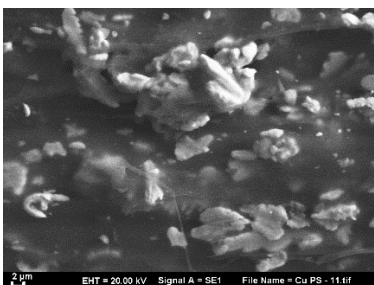
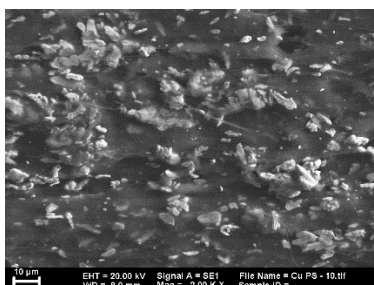
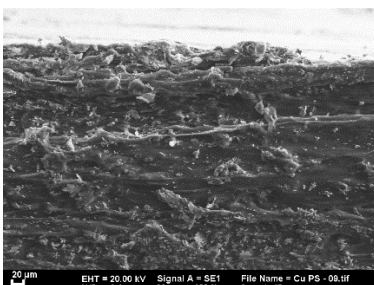
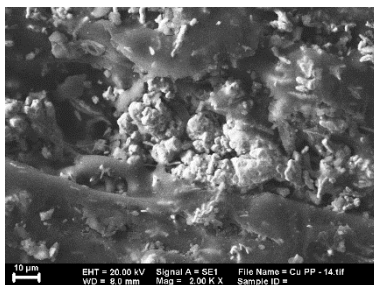
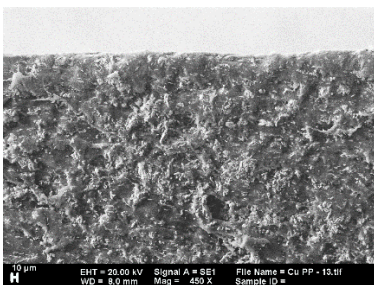
Peak list	Match	Compound name	Library
Position: 416.52 Intensity: 62.575	41	87.88 POLY(PROPYLENE), ATACTIC	Hummel Polymer Sample Library
Position: 436.78 Intensity: 62.864	942	87.61 Polypropylene, isotactic	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 472.07 Intensity: 63.051	324	85.78 Polypropylene + poly(ethylene-propylene)	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 582.00 Intensity: 63.781	17997	85.17 Polypropylene, isotactic, average MW ca.	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
Position: 588.00 Intensity: 56.463	250.000		
Position: 598.60 Intensity: 84.778	943	83.46 Polypropylene, atactic	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 872.40 Intensity: 85.340	566	83.32 Polypropylene, atactic	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 968.49 Intensity: 92.262	737	82.98 Polypropylene	HR Nicolet Sampler Library
Position: 1165.65 Intensity: 91.014	38	82.27 POLY(PROPYLENE), SYNDIOTACTIC	Hummel Polymer Sample Library
Position: 1375.77 Intensity: 69.261	624	79.91 Polypropylene+poly(ethylene-propylene)	HR Nicolet Sampler Library
Position: 1452.05 Intensity: 78.787	975	79.49 Polypropylene + Vistalon 404, 1:1	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 1590.76 Intensity: 89.156			
Position: 2161.89 Intensity: 98.240			
Position: 2383.21 Intensity: 79.360			
Position: 2887.01 Intensity: 79.732			
Position: 2915.66 Intensity: 68.337			
Position: 2949.69 Intensity: 72.134			

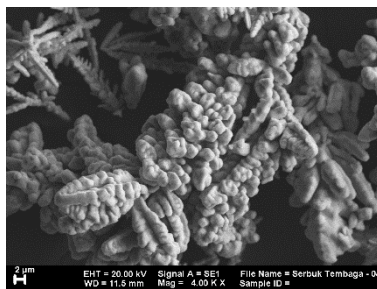
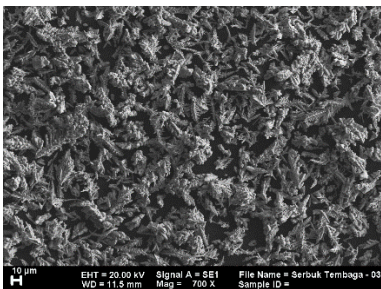
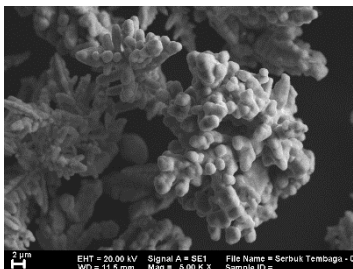
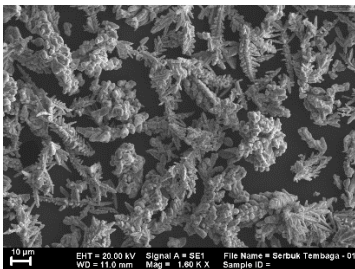




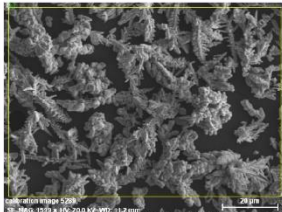
#### 4. Hasil SEM/EDX



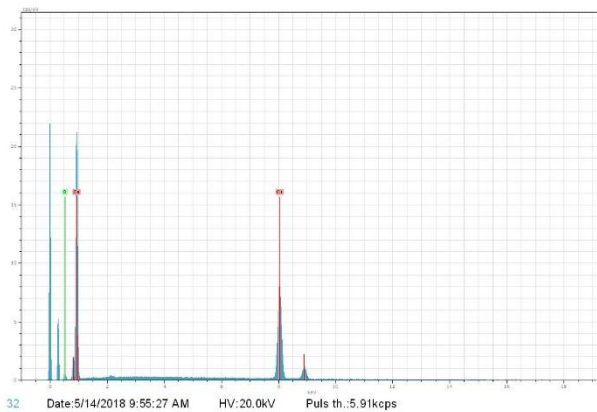




## Serbuk Tembaga

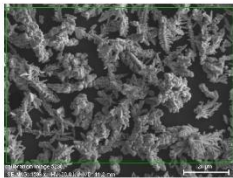


calibration image 5289  
SE: 1598 x 16K 20.0kV WD: 11.2 mm  
20  $\mu$ m  
calibration image 5289 Date: 5/14/2018 9:54:27 AM Image size 512 x 384 Mag: 1598 98792x HV: 20.0kV

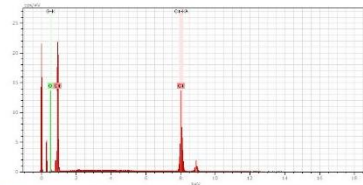


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Cu	29	K-series	116.97	98.98	96.06	3.2
O	8	K-series	1.21	1.02	3.94	0.3
Total:			118.17	100.00	100.00	

## Serbuk Tembaga

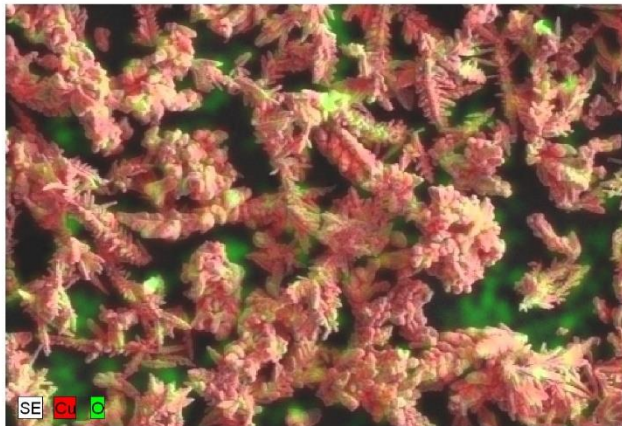


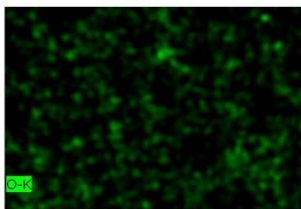
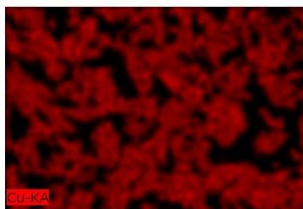
calibration image 5290Date:5/14/2018 9:54:27  
AMImage size:512 x  
384Mag:1598.98792xHV:20.0kV



Map Date:5/14/2018 9:57:14 AM HV:20.0kV  
Puls th.:5.67kcps

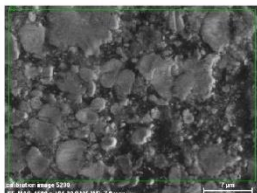
calibration image 21 4180Date:5/14/2018 9:57:15 AMImage size:501 x  
343Mag:1598.98792xHV:20.0kV



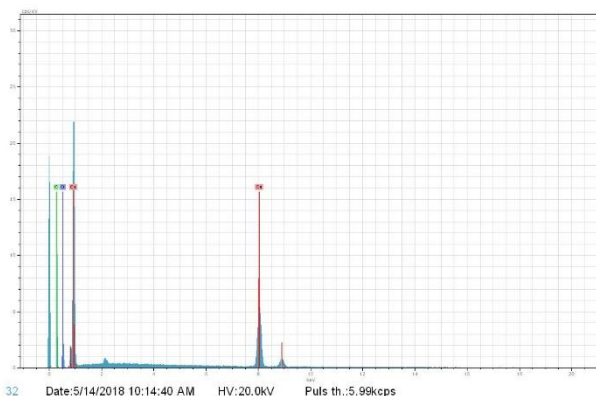


Cu-Kα, O-KDate:5/14/2018 9:58:07 AM  
Image size:501 x 343  
Mag:1598.98792x  
HV:20.0kV

# Cu PC



calibration image 5290Date:5/14/2018  
10:14:18 AMImage size:512 x  
384Mag:4500xHV:20.0kV

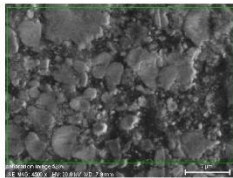


32 Date:5/14/2018 10:14:40 AM HV:20.0kV Puls th.:5.99kcps

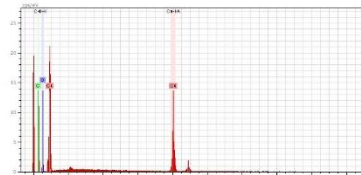
EI AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
-----					
Cu	29 K-series	73.28	71.19	33.50	2.0
C	6 K-series	20.99	20.39	50.77	2.7
O	8 K-series	8.67	8.42	15.73	1.3
-----					
Total:		102.94	100.00	100.00	



# Cu PC

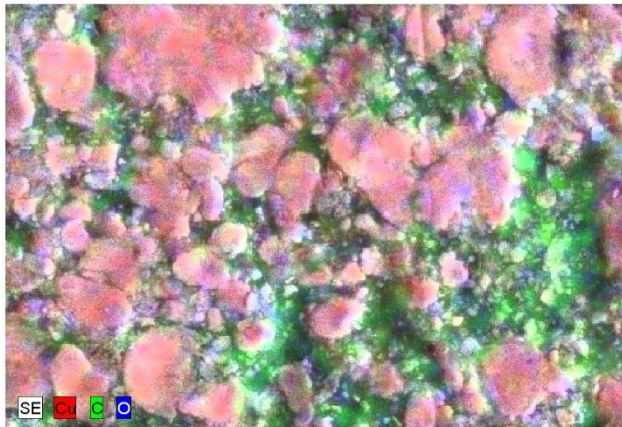


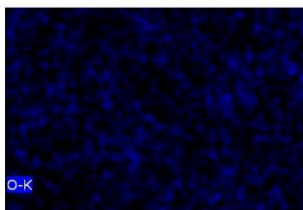
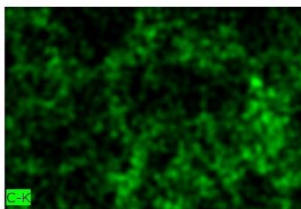
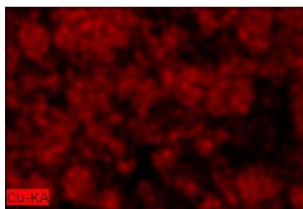
calibration image 5291Date:5/14/2018  
10:14:18 AMImage size:512 x  
384Mag:4500xHV:20.0kV



Map Date:5/14/2018 10:15:54 AM HV:20.0kV  
Puls th.:5.58kcps

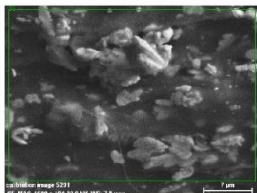
calibration image 21 4181Date:5/14/2018 10:15:54 AMImage size:501 x  
343Mag:4500xHV:20.0kV



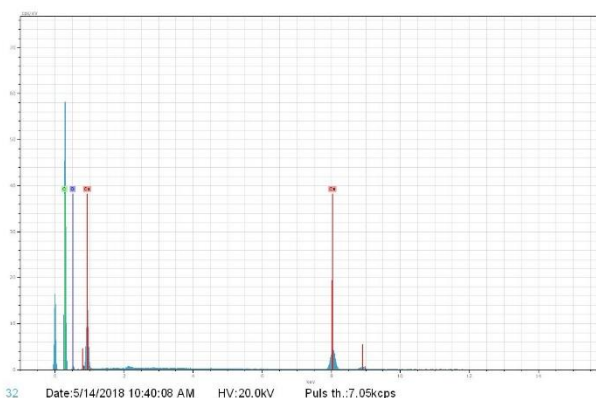


Cu-KA, C-K, O-KDate:5/14/2018 10:16:37 AM  
Image size:501 x 343  
Mag:4500X  
HV:20.0kV

# Cu PS



calibration image 5291 Date: 5/14/2018  
10:39:28 AM Image size: 512 x  
384 Mag: 4500x HV: 20.0kV



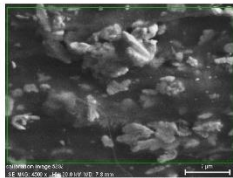
32 Date: 5/14/2018 10:40:08 AM HV: 20.0kV Puls th.: 7.05keps

E1 AN Series un. C norm. C Atom. C Error  
[wt. %] [wt. %] [at. %] [%]

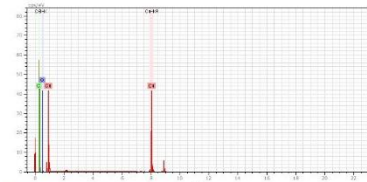
Element	Series	un. [wt. %]	C norm. [wt. %]	C Atom. [at. %]	C Error [%]
C	6 K-series	64.53	56.15	85.30	7.2
Cu	29 K-series	47.55	41.37	11.88	1.3
O	8 K-series	2.84	2.47	2.82	0.6

Total: 114.92 100.00 100.00

# Cu PS

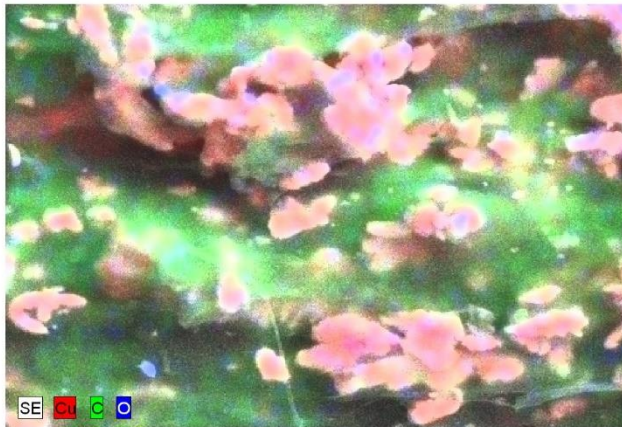


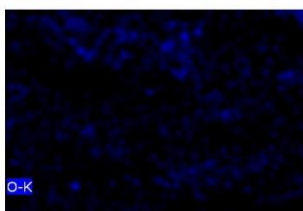
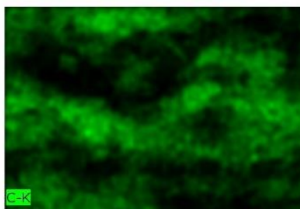
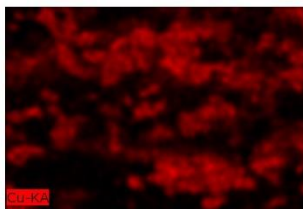
calibration image 5292 Date: 5/14/2018  
10:39:28 AM Image size: 512 x  
384 Mag: 4500x HV: 20.0kV



Map Date: 5/14/2018 10:41:11 AM HV: 20.0kV  
Puls th.: 5.42 kcps

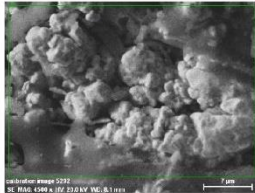
calibration image 21 4182 Date: 5/14/2018 10:41:12 AM Image size: 501 x  
343 Mag: 4500x HV: 20.0kV



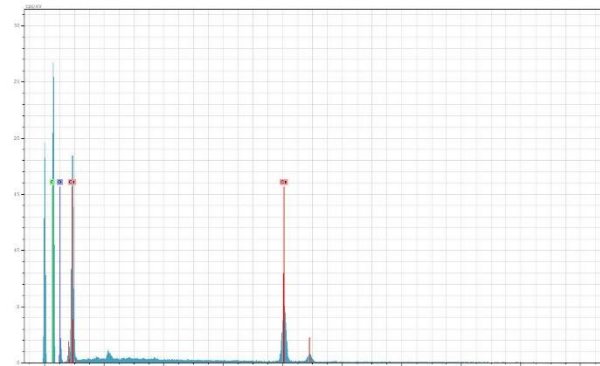


Cu-Kα, C-K, O-KDate:5/14/2018 10:41:55 AM  
Image size:501 x 343  
Mag:4500X  
HV:20.0kV

Cu PP



calibration image 5292 Date: 5/14/2018  
10:56:27 AM Image size: 512 x  
384 Mag: 4500x HV: 20.0kV



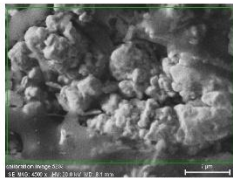
32 Date: 5/14/2018 10:57:35 AM HV: 20.0kV Puls th.: 6.32keps

El	AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Cu	29	K-series	54.16	52.24	17.89	1.5
C	6	K-series	39.32	37.92	68.72	4.8
O	8	K-series	10.20	9.84	13.39	1.8
Total:			103.68	100.00	100.00	

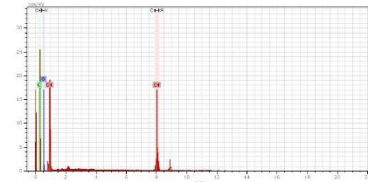
5/14/2018

10. Page

# Cu PP



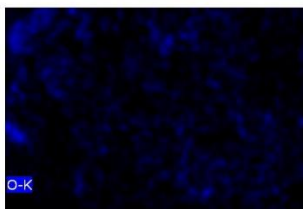
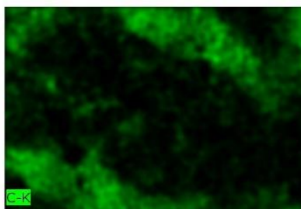
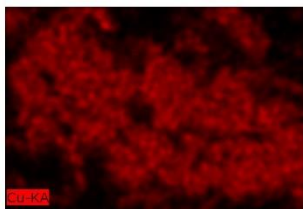
calibration image 5293 Date: 5/14/2018  
10:58:27 AM Image size: 512 x  
384 Mag: 4500x HV: 20.0kV



Map Date: 5/14/2018 10:58:14 AM HV: 20.0kV  
Puls th.: 5.50kcps

calibration image 21 4183 Date: 5/14/2018 10:58:14 AM Image size: 501 x  
343 Mag: 4500x HV: 20.0kV





Cu-Kα, C-K, O-KDate:5/14/2018 10:58:59 AM  
Image size:501 x 343  
Mag:4500X  
HV:20.0kV